



**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže**

**Návrh technologie obrábění zubních implantátů na pěti-  
osém obráběcím centru**

**Technology Project of Dental Implants on Five-axis  
Machining Centre**

**Student:  
Vedoucí bakalářské práce:**

**Bc. Radim Polách  
prof.Dr.Ing.Josef Brychta**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radim Polách**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh technologie obrábění zubních implantátů na pěti-osém obráběcím centru**  
**Technology Project of Dental Implants on Five-axis Machining Centre**

Zásady pro vypracování:

1. Specifikace pěti-osého obráběcího centra.
2. Vytvoření 3D modelu obráběných implantátů a konstrukce upínacích zařízení.
3. Návrh výrobní technologie v CAM systému POWERMILL 2012 R2.
4. Aplikace technologie na pěti-osém obráběcím centru.
5. Porovnání výrobní technologie s použitím speciální funkce ULTRASONIC se standardní technologií.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Josef Brychta**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

  
Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



## Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

20.5.2013

podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřou licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2013

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Radim Polách

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Wolkerova 110

563 01 Lanškroun

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

POLÁCH, R. Návrh technologie obrábění zubních implantátů na pěti-osém obráběcím centru: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 56s. Vedoucí práce: Brychta, J.

Diplomová práce se zabývá kompletním návrhem technologie obrábění zubních náhrad s použitím nejmodernějších dostupných technologií. V úvodu jsou popsány současné výrobní technologie výroby zubních korunek. V hlavní části je navržena nová technologie výroby zubních korunek a můstků. V praktické části se autor zaměřuje na stanovení optimálních řezných strategií a řezných podmínek s důrazem na kvalitu obráběného povrchu. V závěru diplomové práce jsou uvedeny dosažené výsledky a ekonomické zhodnocení investice do nové technologie obrábění.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

POLÁCH, R. *Technology project of dental implants machining on five-axis machining centre: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2011, 56s. Thesis head: Brychta, J.

The Master Thesis deals with complete technology project of dental implants machining using the latest technologies presently available. In the introduction there are described current technologies of production of dental implants. In the main part new technology of production of dental implants and bridges is suggested. In the practical part the author focuses on the specifying of optimal cutting strategies and cutting conditions with emphasis on the quality of surface machined. The results attained and economical evaluation of investment are stated in the conclusion of the Master Thesis.

## Obsah

	strana
<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>9</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Standardní technologie výroby zubních korunek .....</b>	<b>12</b>
1.1 Typy korunkových náhrad .....	12
1.1.1 Pryskyřičná korunka .....	12
1.1.2 Plášťová korunka litá .....	12
1.1.3 Korunka fasetovaná pryskyřicí nebo kompozitní pryskyřicí .....	12
1.1.4 Korunka fasetovaná keramikou (metalokeramická) .....	12
1.1.5 Celokeramická korunka .....	12
1.2 Postup výroby zubní korunky .....	12
1.2.1 Postup výroby zubní korunky odléváním .....	12
1.2.2 Postup výroby zubní korunky pomocí Laserového sintrování .....	18
Obr. 13 princip výroby zubní korunky Laserovým sintrováním .....	18
<b>2 Specifikace pěti-osého obráběcího centra .....</b>	<b>18</b>
2.1 Lékařská technologie ve strojírenství .....	18
2.2 Technická specifikace stroje ULTRASONIC10 PH2/120 .....	19
2.3 Prezentace speciální technologie ULTRASONIC-OSCILACE .....	22
<b>3 Vytvoření 3D modelu obráběných korunek a můstků a konstrukce upínacího zařízení .....</b>	<b>23</b>
3.1 Vytvoření 3D modelů obráběných korunek a můstků .....	23
3.1.1 Zfx 3D Scan III (obr. 19) .....	23
3.1.2 Technické parametry Zfx 3D Scan III .....	23
3.2 Konstrukce upínacího zařízení polotovaru .....	24
3.2.1 Modelování polotovaru zubní korunky .....	24
3.2.2 Konstrukce upínacího přípravku .....	25
3.2.3 Tvorba sestavy .....	27
3.2.4 Výkresová dokumentace upínacího přípravku .....	28
<b>4 Specifikace dostupných řezných nástrojů .....</b>	<b>29</b>



4.1	Materiál obráběného dílu.....	29
4.1.1	Chromkobalt CoCr .....	29
4.1.2	Titan Ti.....	29
4.1.3	ZrO <sub>2</sub> .....	29
4.2	Nástrojové vybavení.....	29
4.2.1	OSG – nástrojové vybavení .....	30
4.2.2	SCHOTT – diamantové nástroje .....	30
4.3	Řezné nástroje a nástrojové upínače .....	30
4.3.1	Řezné nástroje pro obrábění CoCr.....	30
4.3.2	Řezné nástroje pro obrábění ZrO <sub>2</sub> .....	32
4.4	Stanovení řezných podmínek .....	33
4.4.1	Vzorce pro výpočet řezných parametrů .....	33
4.4.2	Řezné parametry pro obrábění CoCr .....	34
4.4.3	Řezné parametry pro obrábění ZrO <sub>2</sub> .....	34
<b>5</b>	<b>Návrh výrobní technologie v CAM systému .....</b>	<b>34</b>
5.1	Představení CAM software hyperDENT .....	34
5.2	Import obráběného dílu a definice polotovaru.....	35
5.2.1	Definice stroje .....	35
5.2.2	Importování modelu zubního implantátu.....	35
5.2.3	Definice polotovaru .....	36
5.3	Nastavení hlavního směru obrábění a automatická verifikace obráběných segmentů .....	36
5.3.1	Nastavení hlavního směru obrábění .....	36
5.3.2	Automatická verifikace obráběných segmentů .....	37
5.4	Vytvoření drah obrábění.....	38
5.4.1	Vytvoření dráhy obrábění pomocí uložené šablony .....	38
5.5	Simulace obrábění a vytvoření NC programu.....	39
5.5.1	Simulace obráběných strategií .....	39
5.5.2	Vytvoření NC kódu .....	40
5.5.3	Ukázka NC kódu .....	41





<b>6</b>	<b>Aplikace na pěti-osém obráběcím centru .....</b>	<b>41</b>
6.1	CNC operační systém SINUMERIC 840D SolutionLine.....	41
6.2	Definice řezných nástrojů .....	42
6.3	Nastavení korekcí nástrojů a stanovení nulových bodů .....	42
6.4	Ultrasonic generátor .....	43
6.5	Přenos NC programu .....	45
6.6	Automatický režim .....	46
6.7	Kontrola obráběných dílů .....	47
6.7.1	Integrita a drsnost povrchu .....	47
6.7.2	Vizuální kontrola a manuální broušení obrobeného segmentu .....	48
<b>7</b>	<b>Ekonomická statistika.....</b>	<b>50</b>
7.1	Vývoj ceny zubní korunky CoCr vyrobené technologií frézování od roku 2005 do roku 2013 .....	50
7.2	Cena zubní korunky CoCr vyrobené různými technologiemi výroby .....	50
7.3	Výpočet návratnosti investice zubní korunky CoCr.....	51
7.3.1	Výpočet návratnosti investice při platných cenách v roce 2013 .....	51
7.3.2	Výpočet návratnosti investice při zohlednění nejvyšší inflace v časovém období od roku 2005 do roku 2013 .....	51
	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>54</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>55</b>
	<b>Poděkování .....</b>	<b>56</b>

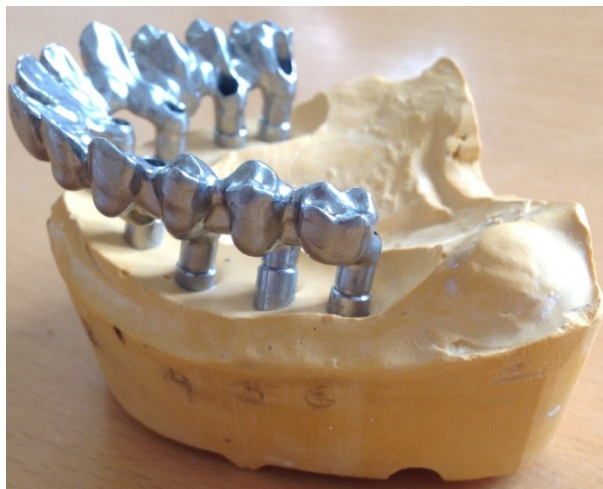


## Seznam použitých značek a symbolů

$v_c$	řezná rychlost [m/min]
$f_z$	posuv na zub [mm/zub]
$n$	otáčky vřetene [ot/min]
$F$	rychlost posuvu [mm/min]
$Z$	počet zubů [1]
$D$	průměr frézy [mm]
$R_p$	největší výška povrchu [ $\mu\text{m}$ ]
$R_v$	největší hloubka prohlubně povrchu [ $\mu\text{m}$ ]
$R_z$	největší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]
$R_c$	průměrná výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]
$R_t$	celková výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]
$R_a$	aritmetický průměr výšky profilu [ $\mu\text{m}$ ]

## Úvod

Návrh technologie obrábění zubních korunek, implantátů a můstků vyžaduje hluboké zamyšlení nad technologickým postupem výroby. Na zubní náhrady jsou kladeny největší nároky na opracování a přesnost opracovaných tvarů. Tato technologie vyžaduje použití co nejmodernějších CNC více-osých strojů, řezných nástrojů, upínačů řezných nástrojů a metrologických technologií. Pro technologii obrábění zubních náhrad je rovněž nutné použít kvalitní upínač obráběného polotovaru.



Historie zubních implantátů sahá až do období Mayů a středověku. Z archeologických nálezů z těchto dob byly objeveny první zubní implantáty. Ztracené a poškozené zuby byly nahrazovány částmi mušlí, které pak plnily funkce zubů. V polovině 20. století došlo k největšímu rozmachu ve vývoji zubních implantátů. V této době se začaly vyrábět první zubní implantáty z nových materiálů, které lidský organismus snáší bez vedlejších škodlivých jevů. Nejčastěji používanými materiály jsou slitiny kobalt-chromu, titanu a sklokeramické materiály. Kovové zubní náhrady jsou pak upravovány speciálními povrchovými technologiemi, kde se na zubní náhradu nanáší keramické vrstvy, které splňují jednotlivé požadavky koncového zákazníka.

V současné době se zubní náhrady vyrábějí na starších typech obráběcích strojů pomocí odlévání kovového materiálu a laserovou sintrací. Na základě požadavku společnosti *Jozef Šatka – zubní laborant* byla oslovena také společnost DMG MORI SEIKI spol. s r.o. Tato německo-japonská společnost, s hlavním sídlem ve městě Bielefeld v Německu se zastoupením také v Česku, se zabývá prodejem, servisem a technologiemi obráběcích CNC strojů. Firma byla oslovena, aby předložila kompletní technologické řešení pro frézování zubních náhrad. Kompletní technologické řešení klade největší důraz na integritu povrchu a tvarovou přesnost obráběných komponentů.

Cílem diplomové práce je navržení technologického řešení obrábění zubních náhrad s využitím nejmodernějších dostupných technologií. Při realizaci jsou použity speciální technologie, které jsou představeny v následujících kapitolách diplomové práce. Konstrukce upínacího přípravku, tvorba modelu obráběného dílu a strategie



obrábění budou vytvořeny pomocí různých CAD-CAM systémů speciálně vytvořených pro potřeby zubních laborantů. Jedním z hlavních parametrů návrhu nové technologie je také ekonomické zvýhodnění a návratnost investice.

# 1 Standardní technologie výroby zubních korunek

## 1.1 Typy korunkových náhrad

### 1.1.1 Pryskyřičná korunka:

Je vyrobena z pryskyřice v barvě stávajících zubů, mechanicky je málo odolná, vhodná jen jako provizorní přechodné řešení. [1]

### 1.1.2 Plášťová korunka litá:

Zhotovuje se ze zlatých slitin nebo z neušlechtilých kovů. Má dobré mechanické vlastnosti, ale esteticky je nevyhovující. [1]

### 1.1.3 Korunka fasetovaná pryskyřicí nebo kompozitní pryskyřicí:

Kovová konstrukce je z vnější strany pokryta pryskyřičnou fasetou v barvě zubu. Mechanické vlastnosti má dobré. Esteticky není tak kvalitní jako keramická korunka. [1]

### 1.1.4 Korunka fasetovaná keramikou (metalokeramická):

Skládá se z vnitřního kovového pláště, který je pokryt keramickou hmotou barevně odpovídající zubu. Mechanicky je také dostatečně odolná. Estetika je (při správném zhotovení) vynikající. [1]

### 1.1.5 Celokeramická korunka:

Nemá vnitřní kovový plášť, má velmi přirozený vzhled, a proto je vhodná zejména pro viditelný úsek chrupu. Má velmi podobné fyzikální vlastnosti jako pravý zub (teplem se roztahují, chladem smršťují) a přirozeně propouští světlo. Keramika je také hypoalergenní a oproti korunkám s kovovým jádrem neoxiduje a nevypouští žádné látky. Současná technologie zaručuje keramice i dostatečnou pevnost. [1]

## 1.2 Postup výroby zubní korunky

### 1.2.1 Postup výroby zubní korunky odléváním

Prvním krokem je tedy příprava zubu na budoucí náhradu v zubní ordinaci. Pokud je například korunka zkaženého zubu příliš poškozená a nelze ji už opravit plombami, zubní lékař zub zbrousí do přesného tvaru, který umožňuje zhotovení a nasazení umělé korunky. Poté otiskne nabroušený zub společně s celým zubním obloukem (zuby v jedné čelisti) do speciální hmoty (obr. 1). [2]



Obr. 1 – Otisk chrupu dolní čelisti

Otisk pacientova chrupu pak putuje do zubní laboratoře společně s dalšími upřesňujícími informacemi o potřebném vzhledu budoucí náhrady – především o jejím vhodném barevném odstínu. Pokud je situace v pacientových ústech přehledná a z hlediska zhotovení potřebné zubní náhrady jednoznačná – nemusí mezi zubním lékařem a zubním technikem proběhnout žádná jiná výměna informací (zubní technik se nemusí osobně setkat s lékařem ani s pacientem). V moderní stomatologii se však stále více upřednostňuje přímá osobní konzultace lékaře a technika nad pacientem – zvláště u komplikovanějších případů. Zubní technik nalije do lékařem připraveného otisku speciální velmi tvrdou sádku, ze které si tak zhotoví tzv. pracovní model pacientova chrupu (obr. 2). [2]



Obr. 2 – Výroba přesného modelu pacientova chrupu

Zubní technik potřebuje nejen model chrupu v čelisti, kde se nachází poškozený zub, ale také model čelisti protilehlé, aby mohl stanovit přesnou velikost a tvar budoucí umělé korunky. Kdyby například zubní technik vyrobil korunku příliš vysokou – tlačila by při kousání do protilehlého zubu a mohla by poškodit jeho povrch a nepřiměřeným zatěžováním také tzv. závěsný aparát (měkké tkáně, které drží zub v čelisti) protilehlého zubu i zubu, na kterém je nasazena. Vysoká korunka tedy může přetěžovat a poškozovat sebe i zuby, proti kterým kouše a způsobovat mimo jiné bolesti jinak zdravých zubů či bolesti hlavy. Kdyby zubní technik vyrobil korunku příliš úzkou – nechránila by

dostatečně prostory mezi ní a okolními zuby. Do otevřených mezizubních prostor pak pronikají velké kusy jídla, které dráždí dásně a způsobují zánět. Chronický zánět dásní může vést až k parodontitidě (zastarale parodontóza) a předčasné ztrátě zubu s umělou korunkou i zubů sousedních. Zkrátka – umělá korunka musí být naprosto přesná na setinu milimetru! Také proto si zubní technik oba sádrové modely upevní v zařízení, které modelově nahrazuje čelisti spojené kloubem, aby přesně viděl, jak do sebe zapadá horní a dolní zubní oblouk pacienta (obr.3). [2]



Obr. 3 – Sádrové modely chrupu dolní i horní čelisti

Ještě předtím si model upraví v místě nabroušeného zubu - mimo jiné odřízne a uvolní oblast kolem zubu tak, aby mohl celou část samostatně vysouvat a zasouvat do podstavce modelu a pahýl zubu natře speciálním izolačním lakem (obr. 4). [2]



Obr. 4 – Model nabroušeného zubu připravený k výrobě umělé korunky

Metalokeramická korunka, jejíž zhotovení je popisováno, se skládá z kovového skeletu (odborníci mu říkají kovová konstrukce), na kterém je nanесena vrstva keramické hmoty ve tvaru a barvě zubu. Poté co si zubní technik připraví pracovní model pacientova chrupu, přikročí k výrobě kovové konstrukce korunky. Použije k tomu nejprve nahřátý dentální vosk, kterým v tenké vrstvě překryje sádrový nabroušený zub. Vytvoří tak základní tvar voskového modelu budoucí kovové konstrukce – takzvanou kapnu. Tuto kapnu

pak kapku po kapce dotvoří z nahřátého vosku do potřebného tvaru, ve kterém je již patrný zárodek budoucího umělého zubu (obr. 5). [2]



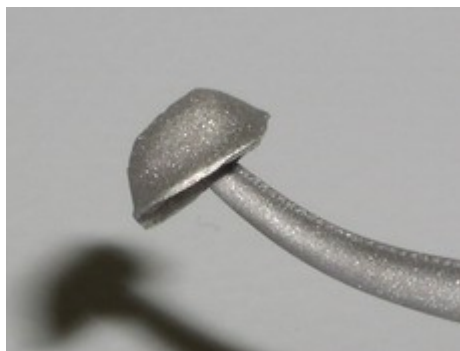
Obr. 5 – Hotový voskový model kovové konstrukce

Následuje proces, výroby formy pro odlití roztaveného kovu. Výsledkem tohoto procesu, který poněkud připomíná hutní výrobu, je hrubý odlitek kovové konstrukce budoucí korunky (obr. 6). [2]



Obr. 6 – Hrubý odlitek kovové konstrukce

Následuje povrchová úprava opracované korunky otryskáváním. Pomocí vzduchové trysky, ze které prudce tryská velmi jemný křemičitý písek (obr. 7). [2]



Obr. 7 – Zubní korunka upravená (opískovaná) pro nanášení keramického materiálu



Nyní je nosná konstrukce umělé korunky připravená k nanášení keramického materiálu. Ten se vyrábí v podobě jemného prášku, který se při zpracování smíchá se speciální tekutinou – vznikne tak tzv. keramické těsto. Existuje samozřejmě více tzv. dentálních keramických systémů sloužících k výrobě keramických zubních náhrad. Zjednodušeně se dá říci, že jednotlivé keramické systémy se liší především v tom, jaké možnosti poskytují zubnímu technikovi pro výrobu co nejfunkčnější a nejpřirozenější náhrady. Např. se dá použít vysoce kvalitní keramika Ceramco3. Jednotlivé vrstvy přirozeného zubu jsou různě zabarvené a v různé míře průsvitné. Aby umělý zub vypadal přirozeně, musí se tedy skládat z několika různě průsvitných vrstev keramického materiálu různého barevného tónování. Kovová konstrukce se nejprve překryje tenkou vrstvou neprůsvitného materiálu, aby barva kovu neprosvítila dalšími vrstvami keramiky a nepřirozeným způsobem neovlivňovala celkovou barvu umělého zubu (obr. 8). [2]



Obr. 8 – Zubní korunka překrytá první neprůsvitnou vrstvou keramického materiálu – tzv. opákrem

Překrytí kovové korunky je jedním z hlavních estetických problémů při výrobě metalokeramických náhrad. Keramický systém Ceramco3 obsahuje speciální mikrokrystaly, které se nanášejí na první opákní vrstvu. Tyto krystalky dobře lomí a odrážejí světlo. "Rozsvěcují" tak umělý zub zevnitř a rozptylují stín, který uvnitř průsvitné keramiky vytváří kovová konstrukce (obr. 9). [2]



Obr. 9 – Vrstva krystalků z keramického systému Ceramco3

Nyní se dá zárodek nové korunky vypálit do tzv. keramické pece, aby při teplotě 975°C opákní vrstva ztvrdla, spojila se s krystalky a dobře přilnula ke kovovému podkladu.

Nyní se nanese vrstva, která napodobuje vnitřní strukturu přirozeného zubu – dentin. Tato vrstva se dá vypálit do keramické pece, kde zesklivatí a ztvrdne. Keramické těsto se po vypálení objemově zmenší (kontrahuje) – zubní technik tedy musí vždy tento objemový úbytek odhadnout a nanést odpovídající množství materiálu (obr. 10 a 11). Keramické těsto, ze kterého se vytvářejí jednotlivé vrstvy umělého zubu, je v původní podobě většinou bílé, žluté, růžové a modré. Zubní technik tedy vytváří barevnou strukturu korunky po paměti – podle svých zkušeností a znalostí o jednotlivých složkách keramického systému, se kterým pracuje. Dále je nanesena vrstva, která nahrazuje sklovinu, a která se opět vypálí v keramické peci. Na závěr tedy zubní technik korunku dobarví (pokud je to z estetického hlediska žádoucí) a její povrch pečlivě vyhladí různými leštícími kotouči a pastami, aby byla co nejdokonalejší (obr. 12). [2]



Obr. 10 a 11 – Dentinová vrstva keramického těsta před a po vypálení



Obr. 12 – Pohledy na hotovou korunku dobarvenou barevnými efekty

### 1.2.2 Postup výroby zubní korunky pomocí Laserového sintrování (obr. 13)

Technologie laserového sintrování pracuje na principu bodového tavení metalického prášku silným laserovým paprskem. Původně se tato technologie používala hlavně pro vytváření kovových prototypů nejrůznějších výrobků, nyní se objevuje také v celé řadě dalších oborů, přičemž jednou z nejperspektivnějších oblastí je právě výroba přesných konstrukcí stomatoprotetických náhrad.

Stroj pro laserové sintrování je vlastně výkonná 3D tiskárna, v níž výrobky vznikají bodovým laserovým tavením opakovaně nanášené vrstvy kovového prášku. Odborně se tato metoda označuje jako Direct Metal Laser Sintering (DMLS). Pomocí laserového sintrování můžeme vyrábět jak konstrukce jednotlivých členů, tak i mnohočlenné konstrukce zubních můstků.

Na počátku stojí sádrový model chrupu, který je v zubní laboratoři převeden pomocí CAD/CAM scanneru do své digitální podoby. Software scanneru následně umožňuje vymodelovat tvar celé budoucí zubní konstrukce, který je pak ve formě univerzálního datového formátu .stl předán ke zpracování a výrobě. [3]



Obr. 13 princip výroby zubní korunky Laserovým sintrováním

## 2 Specifikace pěti-osého obráběcího centra

### 2.1 Lékařská technologie ve strojírenství

CNC obráběcí stroje od společnosti DMG MORI SEIKI se v dnešní době používají pro precizní vysokorychlostní obrábění lékařských a zubních implantátů. Německá společnost SAUER vyvinula nové stroje pro nejpřesnější výrobu náhrad kolenních kloubů, kyčelních kloubů, kostních šroubů a zubních implantátů. Stroj ULTRASONIC10 PH2/120 (obr. 14) od společnosti SAUER, který byl použit pro vypracování diplomové práce je speciálně konstruován pro výrobu tvrdých a křehkých materiálů, které se používají v lékařském průmyslu.

## 2.2 Technická specifikace stroje ULTRASONIC10 PH2/120



Obr. 14 ULTRASONIC10 PH2/120

### Rozměrová specifikace stroje

Výška	1850,5 mm
Transportní výška	2252,5 mm
Šířka	1575 mm
Délka	2371 mm
Instalační plocha	2 m <sup>2</sup>

### Standardní vlastnosti stroje

- masivní litinová konstrukce
- lineární valivé vedení
- lineární pohony os X,Y, Z
- plně řízená 4 a 5 osa
- přímé odměřování Heidenhain
- paměť řídicího systému 80GB
- elektronické ruční kolečko
- 4ktrál USB vstup
- síťové připojení

- 3D operační systém SINUMERIC 840D SolutionLine
- dialogový způsob programování
- cykly pro měření nástrojů a nulových bodů
- automatický zásobník nástrojů
- vnější a vnitřní chladicí zařízení s nádrží na 800 l
- ostřikovací pistole pro oplach špon
- automatické čištění kuželu vřetene
- laserové měření nástrojů Renishaw NC4
- infračervené měřicí systém Rehishaw PP-400 pro stanovení nulových bodů
- automatická teplotní kompenzace všech os
- úplné krytí pracovního prostoru

## Specifikace stroje

### Vřeteno

Kužel vřetene	HSK-32	DIN 69893
Otáčky vřetene	0-42000 ot/min	
Výkon pohonu	4,5 kW	
Krouticí moment	7,8 Nm	
Upínací rozsah	13 mm	
Frekvence	max. 1400 Hz	
Proud	max. 11,5 A	
Napětí	max. 200 V	
Hmotnost	9,5 kg	

### Pojezdy

Osa X	120 mm
Osa Y	120 mm
Osa Z	200 mm
4/5 osa (obr. 15)	360°/-20° +120°



Obr. 15 Plně řízená 4 a 5 lineární osa

**Přesnost polohování**

Přesnost polohování	0,001 mm
Opakovaná přesnost polohování	0,005 mm

**Posuvy**

Rychloposuv	40 m/min
Pracovní posuv	40 m/min

**Automatický zásobník nástrojů**

Kapacita zásobníku	16 nástrojů
Maximální délka nástroje	130 mm
Maximální průměr nástroje	40 mm
Maximální hmotnost nástroje	1 kg
Maximální celková hmotnost nástrojů	50 kg

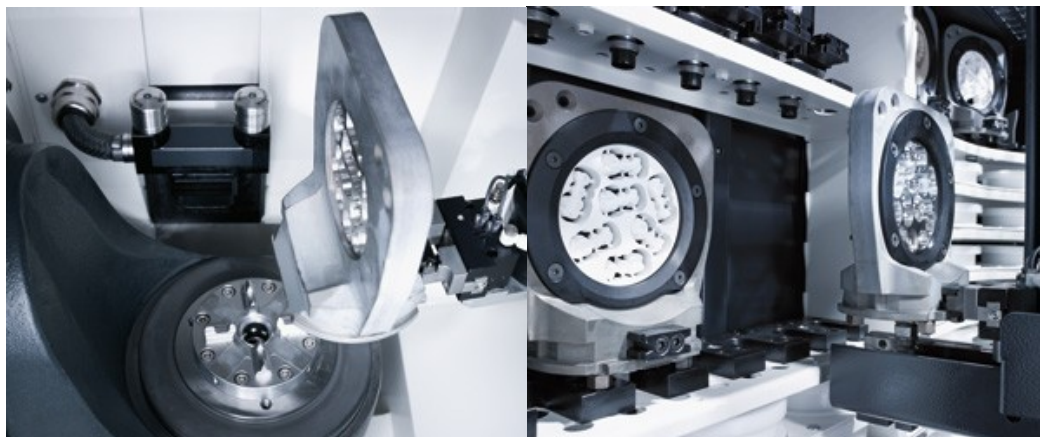
**Ovládací panel DMG SLIMline se systémem SIEMENS 840D SL (obr.16)**

- jednoduché, interaktivní CNC programování
- rychlé editování dlouhých CNC programů
- rychlá grafická simulace programů
- grafický nástrojový manažer
- komplexní 5osé funkce
- přímé zpracování CAD dat

Obr. 16 Ovládací panel DMG SLIMline



### Kompaktní, integrovaný lineární magazín PH2/120 (obr. 17)



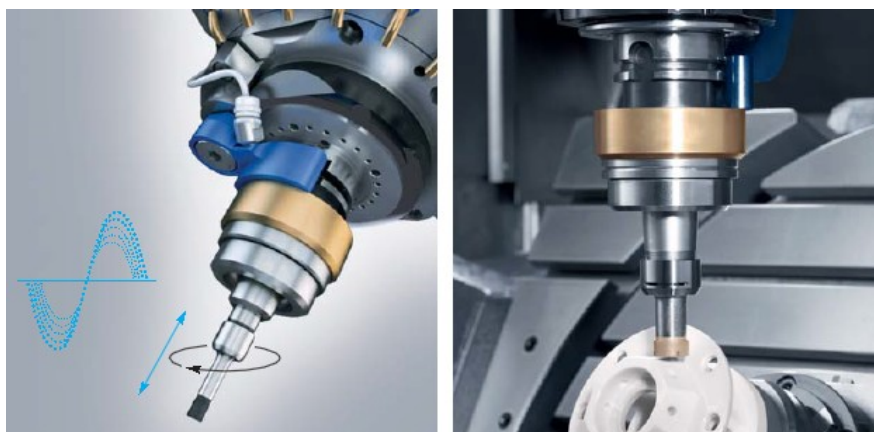
Obr. 17 lineární magazín PH2/120

- rychlé naložení a vyložení polotovarů a hotových dílů
- integrovaných 10 dentálních můstkových bloků a 150 zubních komponentů
- jednoduchý systémový manažer prací a objednávek

### 2.3 Prezentace speciální technologie ULTRASONIC-OSCILACE

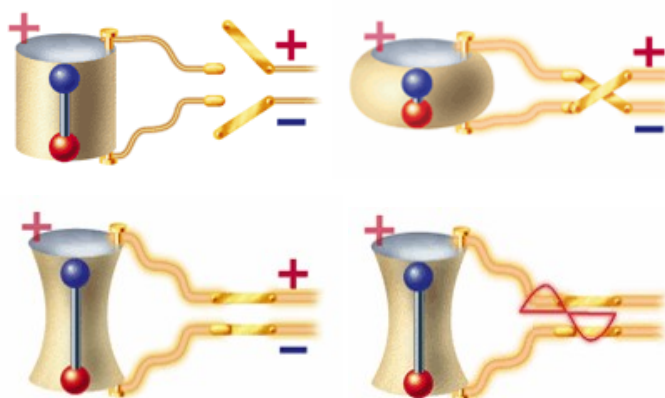
Základní funkce Ultrasonice s upínáním nástrojů HSK je přenos oscilačního kmitání z vřetene na speciální držák nástroje bez fyzického kontaktu. Ultrazvukové vysokofrekvenční oscilaci vytváří piezoelektrický prvek. Aktivní vibrace se přenášejí na nástroj ve vertikálním směru o frekvenci 20 – 50kHz (obr. 16). Rotace nástroje společně s oscilací vytváří kinetický pohyb. [4]

Při připojení střídavého napětí na piezoelektrický prvek (obr. 17) dochází ke geometrické deformaci a tímto vzniká požadovaná oscilace. Pohyb je generován v závislosti na polaritě aplikovaného napětí a směru vektoru polarizace. Použitím střídavého napětí generuje cyklickou změnu geometrie (např. zvýšení nebo snížení průměru disku). [4]





Obr. 18 Funkce Ultrasonic



Obr. 18 Princip piezoelektrického prvku

### 3 Vytvoření 3D modelu obráběných korunek a můstků a konstrukce upínacího zařízení

#### 3.1 Vytvoření 3D modelů obráběných korunek a můstků

##### 3.1.1 Zfx 3D Scan III (obr. 19)

Společnost Zfx představuje 3D skenery pro speciálně potřeby ve stomatologii. Tyto skenery dokážou efektivně a rychle přenášet sádrový odlitek chrupu do digitálního 3D modelu. Zfx Scan III je kompletní řešení 3D skenování zubních korunek a můstků. Artikulované modely mohou být snadno a rychle změněny a v mžiku importovány do CAD software. Bez jakýchkoliv výjimek jde o otevřený systém pro všechny standardní materiály a indikace. [5]



Obr. 19 3D Scen III systém

##### 3.1.2 Technické parametry Zfx 3D Scan III

- Skenování protikusů, silikonových registrátů skusu, korunek a inlayí
- Skenování modelu v okludoru

- Intuitivní uživatelské rozhraní
- Snadno ovladatelný software, otevřený datový interface, výstup ve formátu STL
- Časová úspora až 25% oproti jiným systémům
- Dvoustupňová technologie
- Additive designer
- Rozměry (šířka x hloubka x výška): 220 x 420 x 340mm
- Váha: 12kg
- Certifikace: CE, UL

### 3.2 Konstrukce upínacího zařízení polotovaru

SolidWorks je jeden z nejúspěšnějších strojírenských 3D CAD systémů na trhu. Jako parametrický modelář SolidWorks nabízí výkonné objemové i plošné modelování, vertikální nástroje pro plechové díly, svařence a formy, práci s neomezeně rozsáhlými sestavami a automatické generování výrobních výkresů. SolidWorks představuje především snadné a vizuálně přehledné ovládání. Uživatelské prostředí je velmi intuitivní a zásadně snižuje pohyby myši a umožňuje okamžitou, interakci s uživatelem. Ovládání je založeno na technologii SWIFT, která redukuje potřebu opakujících se úkonů, manuálních zásahů i takových operací, kde si ani zkušený uživatel není dopředu jist postupem a často sahá po metodě pokus omyl. SWIFT dokáže ušetřit významné množství času a umožní se více věnovat samotnému procesu navrhování a ne ovládání systému.

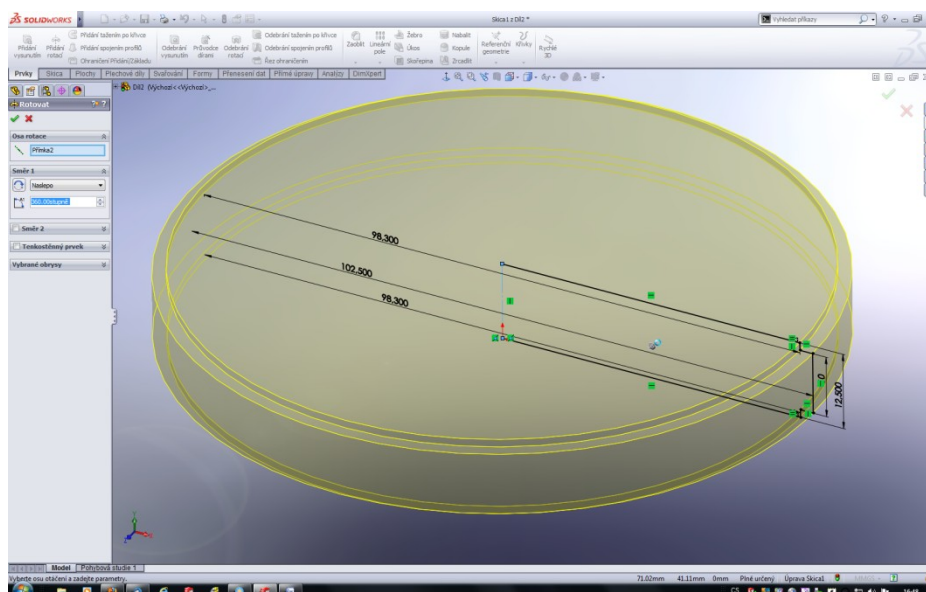


#### 3.2.1 Modelování polotovaru zubní korunky

Model lze velice snadno vytvořit pomocí modulu prvků, kde můžeme vytvořenou skicu vysunout, odebrat, přidání rotací (obr. 20) a odebrání rotací. Pro úpravu vytvořeného prvku se používají funkce zkosení, zaoblení, spojení profilů a speciální komponenty pro tvorbu polí děr atd.

Při importování a exportování vytvořené součásti lze použít integrované translátory, kterými upravujeme data do příslušných CAD systémů např.: PRT

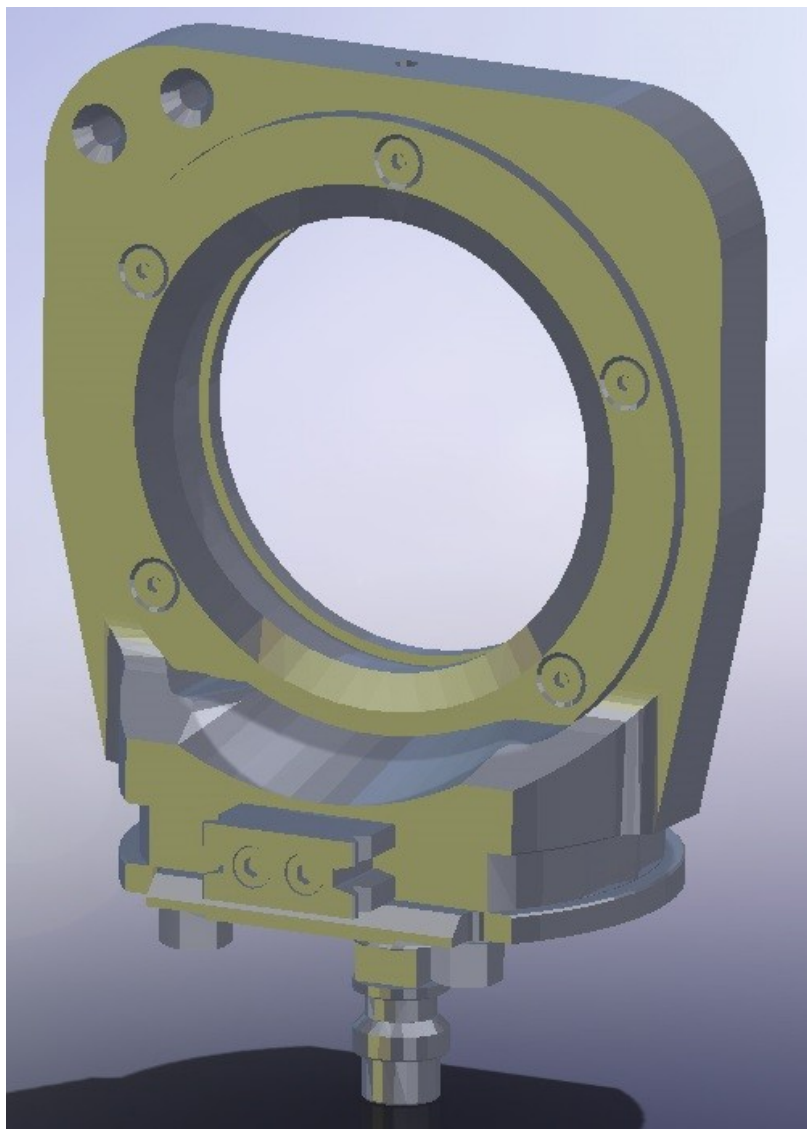
(Pro/ENGINEER), IPT (Autodesk Inventor), CGR (CATIA graphics) atd. [1], [9]



Obr. 20 Přidání rotací

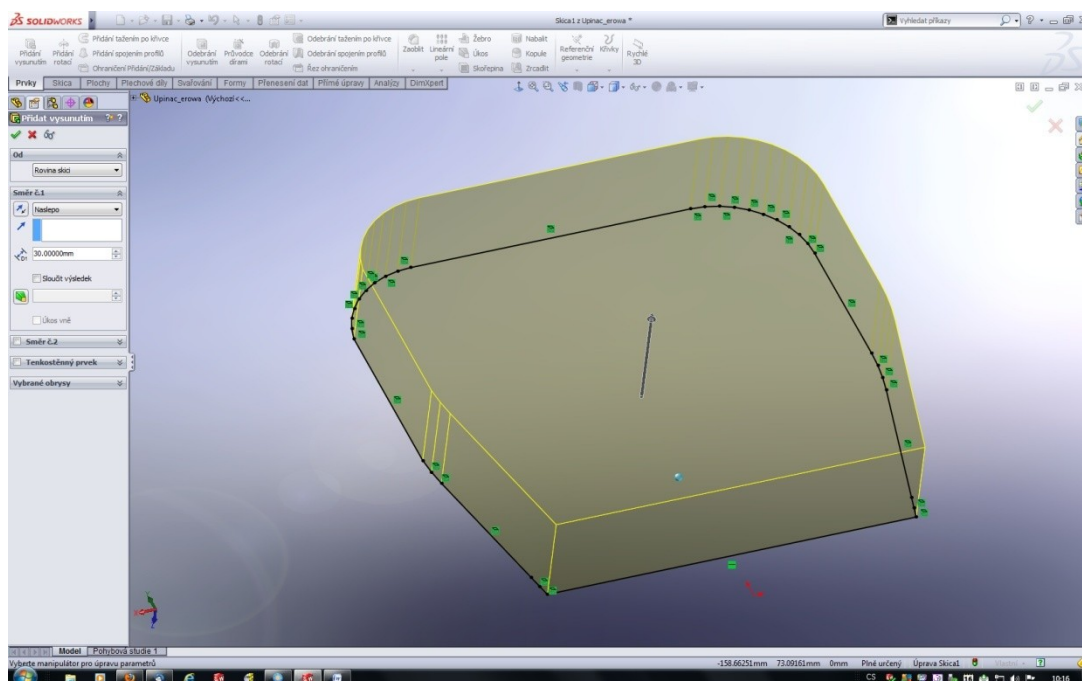
### 3.2.2 Konstrukce upínacího přípravku

Při konstrukci upínacího přípravku je nutno dodržovat určité zásady pro obrábění požadovaného dílu. První zásadou bylo, že konstrukce upínacího přípravku vycházela ze standardního upínací zařízení Erowa integrovaného na NC otočném stole stroje. Další zásadou bylo ustavení standardního dodávaného polotovaru zubních korunek a zubních můstků. Obrábění zubní koruny a zubního můstku musí být souvislé. Každé další upínání snižuje přesnost obráběného dílu a zvyšuje možnost nepřesnosti při napojování obráběných ploch. Upínací přípravek byl navržen co nejefektivnějším a nejjednodušším způsobem. Navržený přípravek nesmí obsahovat žádné komponenty, které by bránily pohybu řezného nástroje a obráběné plochy musí být zcela přístupné. Přesné ustavení obráběné součásti vůči nulovému bodu obrábění je řešeno pomocí odměřovací 3D dotykové sondy. Upínací přípravek (obr. 21) je umístěn a zafixován pomocí standardního hydraulického upínače EROWA.

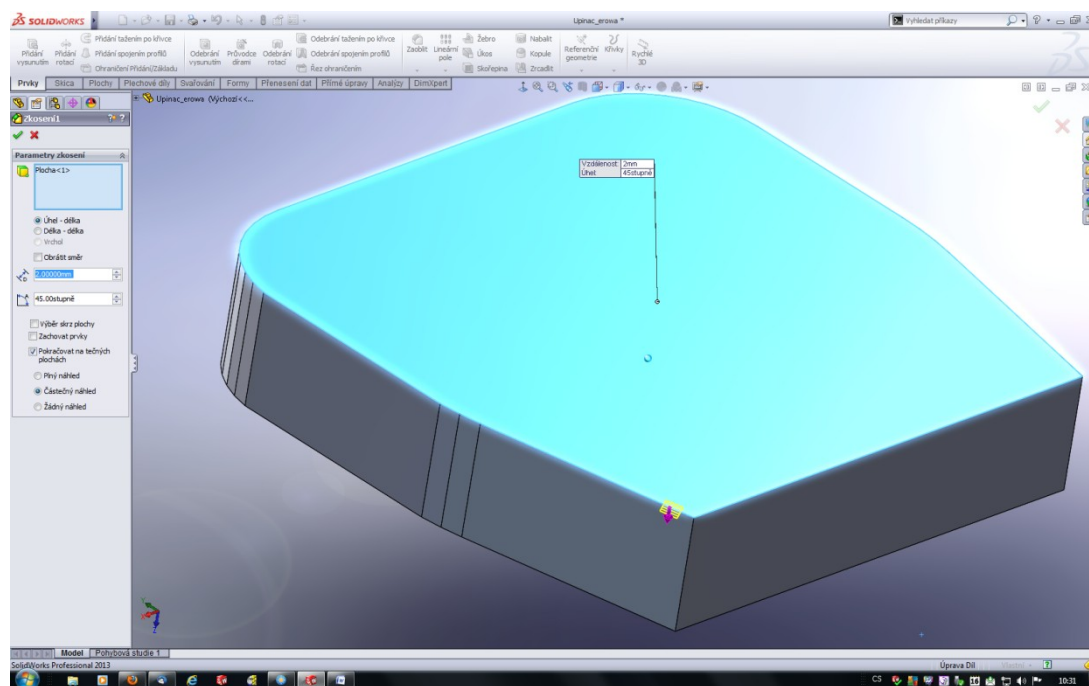


Obr. 21 Upínací přípravek

Při úpravě upínacího přípravku bylo použito standardních funkcí programu SolidWorks pro tvorbu skici. Tyto skici jsou následně použity pro konstrukci 3D modelu upínacího přípravku. Nejčastěji použitými prvky jsou *Odebrání vysunutím*, *Přidání vysunutím* a *Zkosení hran*. U funkcí *Odebrání vysunutím* a *Přidání vysunutím* (obr. 21) se zadávají parametry směru a vzdálenosti pro tvorbu modelu. U funkce *Zkosení hran* (obr. 22) byly použity parametry délky a úhlu zkosení.



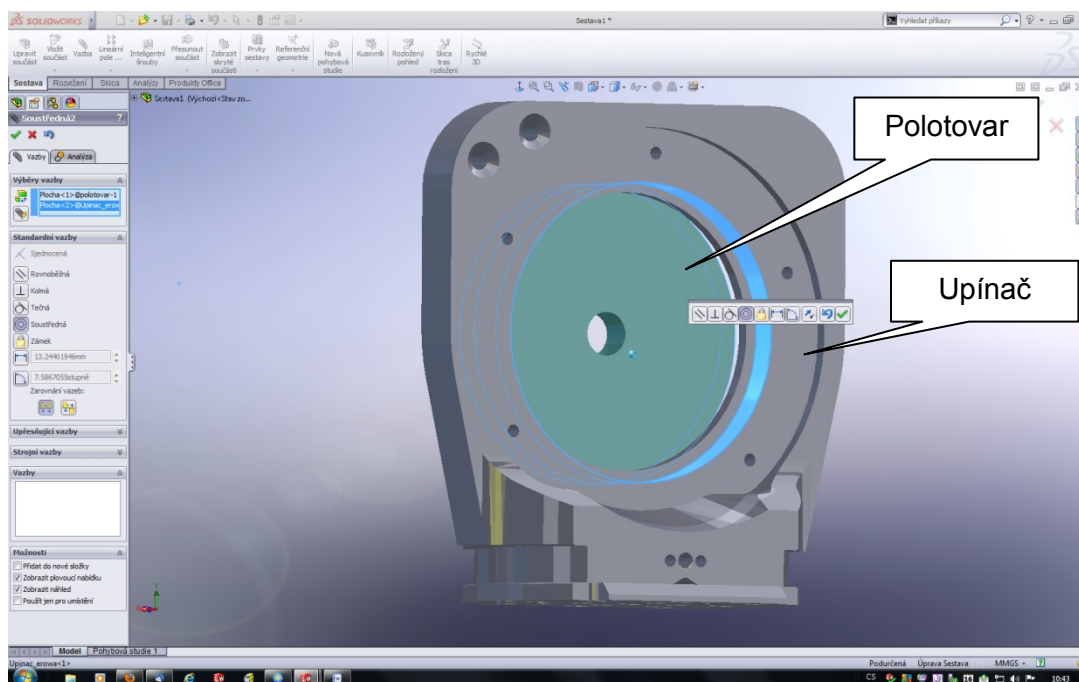
Obr. 22 Přidání vysunutím



Obr. 23 Zkosení hran

### 3.2.3 Tvorba sestavy

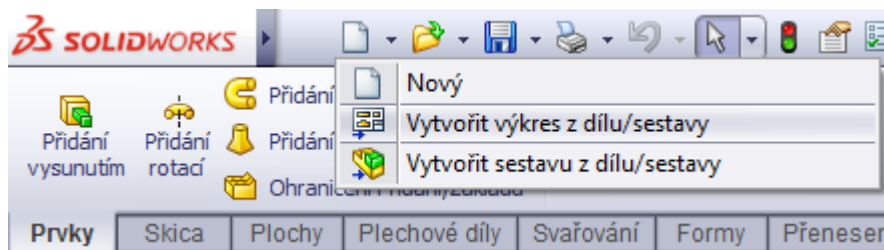
Při tvorbě sestavy lze přímo načítat uložené díly, které se kompletují pomocí integrovaného modulu „Vazby“. Modul vázaných bodů umožňuje vytvářet vazby: sjednocená, rovnoběžná, kolmá, tečná, soustředná (obr. 23). Velká přednost softwaru SolidWorks je schopnost vytvářet sestavy rozsáhlých konstrukcí tvořených z tisíců dílů, protože není nutné zavádět všechny komponenty do paměti. [6]



Obr. 23 Soustředná vazba

### 3.2.4 Výkresová dokumentace upínacího přípravku

Pomocí aplikace SolidWorks lze vytvářet kompletní výrobní dokumentaci bez jakéhokoli dalšího náročného kreslení jednotlivých pohledů a detailů daného dílu. Po jediném kliknutí myši na příslušnou ikonu (obr. 24) software automaticky přepne zobrazení pro tvorbu výkresové dokumentace, kde jsou zobrazeny základní pohledy daného dílu: nárys, půdorys, bokorys a 3D pohled.



Obr. 24 Vytvořit výkres

Také lze velice jednoduše vytvářet po několika kliknutí myši pohledové řezy, rozvinuté řezy, detaily a kóty daného dílu. Při jakékoliv úpravě 2D výkresu nebo modelu se tato úprava promítne ve všech přidružených pohledech, výkresech a sestavách.



## 4 Specifikace dostupných řezných nástrojů

### 4.1 Materiál obráběného dílu

V současné době je nejrozšířenějšími materiály pro výrobu zubních implantátů, zubních korunek a můstků sliniviny chromkobaltu (CoCr), titanu (Ti) a keramický materiál zirkonia ( $ZrO_2$ ). Velkým nedostatkem chromkobaltu a titanu je tvorba otěrových částic vedoucích k uvolnění a selhání implantátů, proto stále více přicházejí na trh keramické materiály na bázi zirkonia. U všech výrobců zubních implantátů a zubních korunek se odvozují ze tří základních kovů: železo, kobalt a titan, která mají v podobě slitin příslušné mechanické, chemické a antikorozi vlastnosti.

Biokompabilita je dalším důležitým faktorem pro volbu materiálu na výrobu implantátů. Biokompabilita je vlastnost chování materiálu na lidské tělo a jeho tkáň. Prostor mezi implantátem a okolní tkání je nejdůležitějším místem při určování biologické reakce na lidské prostředí. Z těchto a estetických důvodů se kovové zubní korunky a můstky upravují pomocí speciálních keramických povrchových úprav. [12]

#### 4.1.1 Chromkobalt CoCr

*Chemické složení:*

Co	Cr	W	Mo	Si	C, Fe, Mn, N
59%	25%	9,5%	3,5%	1%	max. 1,5%

#### 4.1.2 Titan Ti

*Chemické složení:*

Ti	N, C, H, Fe, $O_2$
99,5%	< 1%

#### 4.1.3 $ZrO_2$

*Chemické složení:*

$ZrO_2+HfO_2$	$Y_2O_3$
94%-95,5%	4,5%-6%

### 4.2 Nástrojové vybavení

Pro obrábění tvarově náročných ploch se v dnešní době používají nejmodernější a nejpresnější obráběcí CNC stroje. CNC (Computer Numeric



Control) stroje dovedou s požadovanou přesností a dynamikou obrábět náročné na přesnost různé tvary. Při používání vysokorychlostního obrábění je nutné také použít řezné nástroje, které pracují při vysokých řezných podmínkách. Při vypracování diplomové práce byly použity karbidové stopkové frézy rádiusové a kulové od společnosti OSG. Při obrábění keramických materiálů s využitím technologie Ultrasonice byly použity speciální stopkové frézy s diamantovým povlakem od společnosti SCHOTT.

#### 4.2.1 OSG – nástrojové vybavení

Japonská společnost OSG nabízí rozsáhlou řadu produktů řezných nástrojů technologicky určených pro obrábění v dnešních nejagresivnějších pracovních podmínkách. Tyto nástroje se vyrábějí s exkluzivními materiály se specifickou řeznou geometrií a jedinečnými povrchovými úpravami. OSG nástroje zvyšují produktivitu, spolehlivost a životnost při současném snižování výrobního času. [7]

#### 4.2.2 SCHOTT – diamantové nástroje

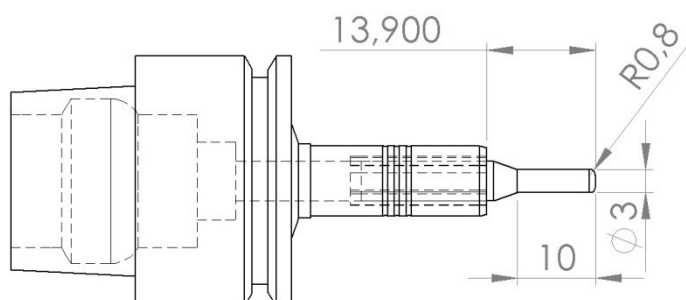
Společnost SCHOTT – diamantové nástroje poskytuje výrobky vyrobené v souladu se specifickými požadavky zákazníků pro obrábění materiálů ze skla, keramiky, kamene, kovu a syntetických materiálů. Hlavní produkce je zaměřena na vytváření jednotlivě galvanicky slinutých diamantových nástrojů pro konvenční a ultrazvukové aplikace. Společnost klade hlavní důraz v oblasti výzkumu a vývoje inovačních technologií, zejména výroby a testování diamantových nástrojů, které se kvalifikují pro ultrazvukové aplikace. [8]



### 4.3 Řezné nástroje a nástrojové upínače

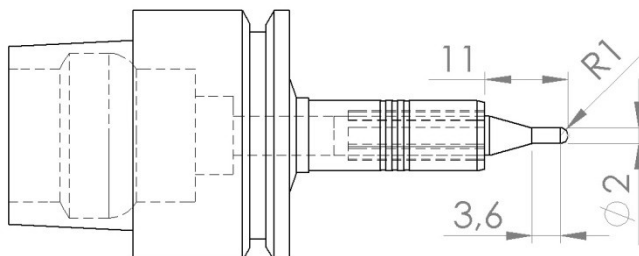
#### 4.3.1 Řezné nástroje pro obrábění CoCr

- T122 – fréza stopková OSG Torus  $\varnothing 3R0,8\text{mm}$ , upínač SCHUNK 4S-45 Big Micro Chuck (obr. 25)



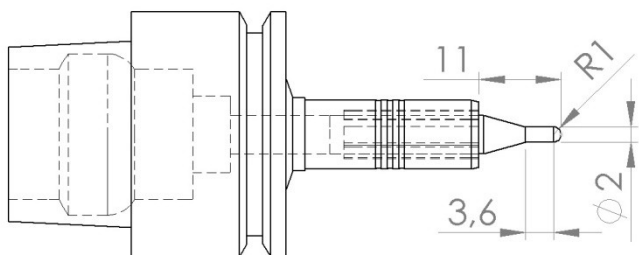
Obr. 25 sestava nástroje T222

- T103 – fréza stopková kulová OSG  $\varnothing 2\text{mm}$ , upínač SCHUNK 4S-45 Big Micro Chuck (obr. 26)



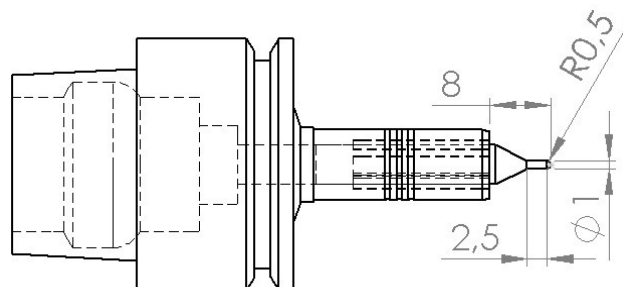
Obr. 26 sestava nástroje T103

- T105 – fréza stopková kulová OSG  $\varnothing 2\text{mm}$ , upínač SCHUNK 4S-45 Big Micro Chuck (obr. 27)



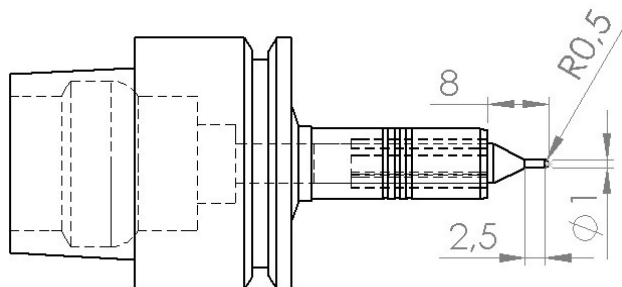
Obr. 27 sestava nástroje T105

- T110 – fréza stopková kulová OSG  $\varnothing 1\text{mm}$ , upínač SCHUNK 4S-45 Big Micro Chuck (obr. 28)



Obr. 28 sestava nástroje T110

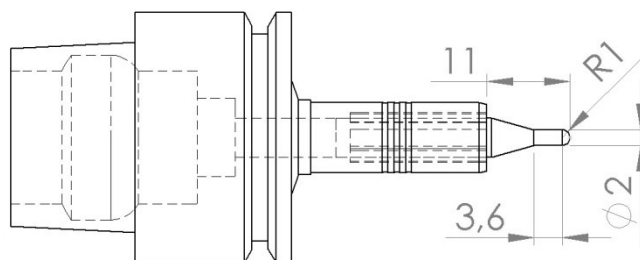
- T107 – fréza stopková kulová OSG  $\varnothing 1\text{mm}$ , upínač SCHUNK 4S-45 Big Micro Chuck (obr. 29)



Obr. 29 sestava nástroje T107

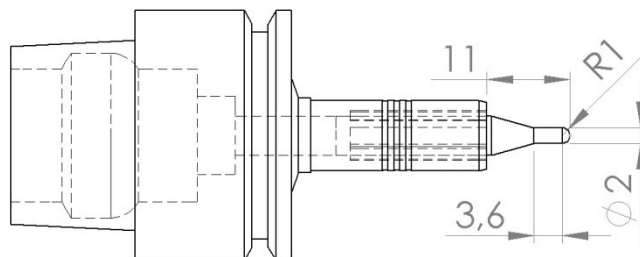
#### 4.3.2 Řezné nástroje pro obrábění ZrO<sub>2</sub>

- T200 – fréza stopková kulová OSG  $\varnothing 2\text{mm}$ , upínač SCHUNK 4S-45 Big Micro Chuck (obr. 30)



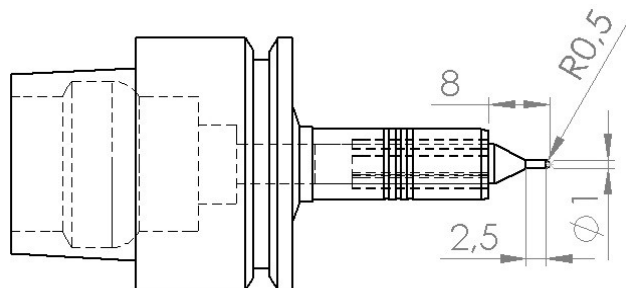
Obr. 30 sestava nástroje T200

- T201 – fréza stopková kulová OSG  $\varnothing 2\text{mm}$ , upínač SCHUNK 4S-45 Big Micro Chuck (obr. 31)



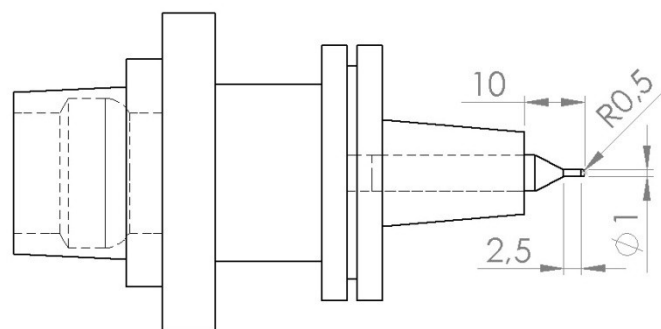
Obr. 31 sestava nástroje T201

- T202 – fréza stopková kulová OSG  $\varnothing 1\text{mm}$ , upínač SCHUNK 4S-45 Big Micro Chuck (obr. 32)



Obr. 32 sestava nástroje T202

- T203 – fréza stopková kulová SCHOTT-diamant  $\varnothing 1\text{mm}$ , upínač HSK32 Actor system (obr. 33)



Obr. 33 sestava nástroje T203

#### 4.4 Stanovení řezných podmínek

Pro stanovení řezných podmínek se vychází z uvedených řezných parametrů v katalozích jednotlivých výrobců. Pro výpočet otáček vřetene a pracovního posuvu používáme předepsané vzorce, kde určujícími faktory jsou řezná rychlost  $v_c$ , posuv na otáčku  $f_s$  a posuv na zub  $f_z$ .

##### 4.4.1 Vzorce pro výpočet řezných parametrů

- Výpočet otáček vřetene

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} = [\text{ot} / \text{min}]$$

$v_c$  - řezná rychlost

$D$  - průměr nástroje

- Výpočet posuvu nástroje

$$F = n \cdot f_z \cdot z = [mm/min]$$

$n$  - otáčky vřetene

$f_z$  - posuv na zub

$z$  - počet břitů nástroje

#### 4.4.2 Řezné parametry pro obrábění CoCr

Číslo nástroje	Otáčky [ot/min]	Posuv [mm/min]
T122	8000	2200
T103	25000	1500
T105	25000	1500
T110	29000	1200
T107	29000	1400

#### 4.4.3 Řezné parametry pro obrábění ZrO<sub>2</sub>

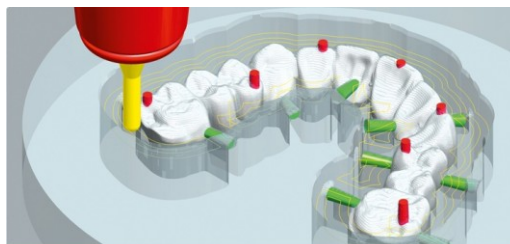
Číslo nástroje	Otáčky [ot/min]	Posuv [mm/min]	Frekvence [kHz]
T200	24000	1700	
T201	30000	1200	
T202	29000	2100	
T203	35000	2200	20

## 5 Návrh výrobní technologie v CAM systému

### 5.1 Představení CAM software hyperDENT

HyperDENT je plně automatizovaný CAM programovací systém. Byl speciálně vyvinut pro potřeby zubních laboratoří a zubních techniků. Je to plně otevřený CAM systém pro frézování zubních náhrad a jiných

dentálních dílů. Jedná se o CAD systém, který načítá STL modely přímo z dentálního Camu. Z automatického rozhraní na importovaný STL model nabaluje předdefinované operace pro 5osé obráběcí centrum. HyperDENT nabízí inovativní funkce pro jednodušší, efektivnější a rychlejší výstavbu mostů. Bezkolizní obrábění je zaručeno pokročilou simulací obrábění, která zajistí spolehlivost procesu. [9]



## 5.2 Import obráběného dílu a definice polotovaru

### 5.2.1 Definice stroje

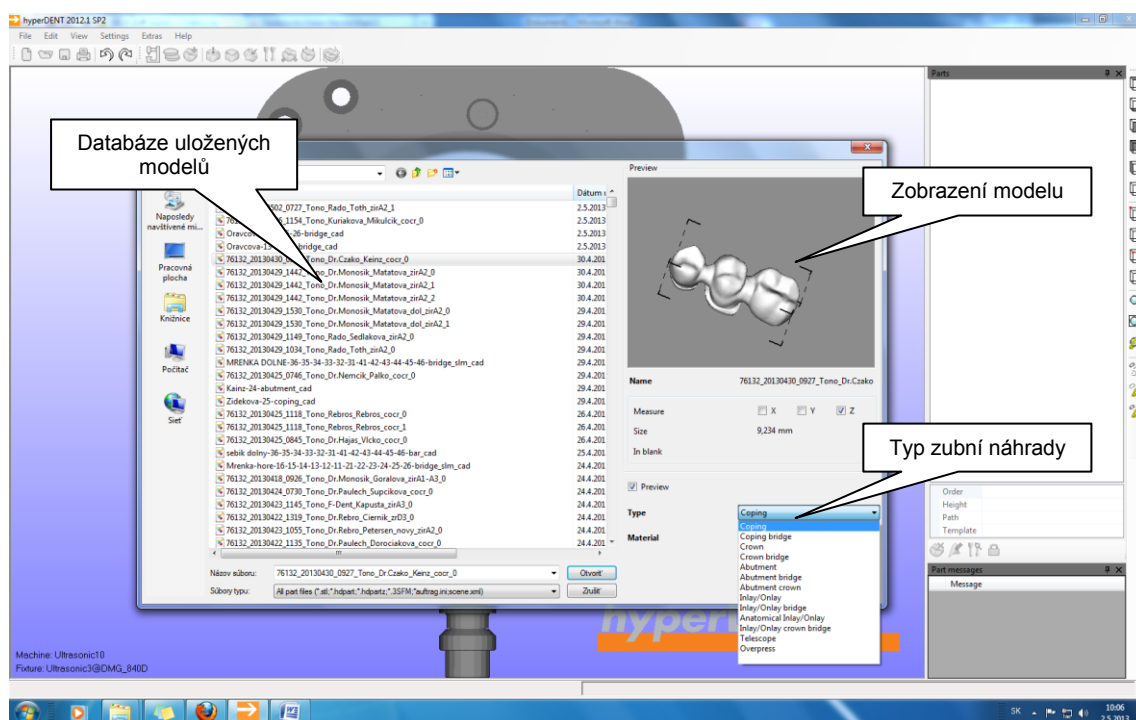
Prvním krokem při návrhu technologie obrábění je volba CNC stroje. Pomocí kliknutí myši na ikonu Select Machine se vybere definovaný stroj. V uloženém souboru jsou zaneseny parametry kinematiky a hodnoty maximálních rozjezdů ve všech osách.

### 5.2.2 Importování modelu zubního implantátu

Importování uložených dílů ve formátu .stl se provede pomocí ikony Load Part, kde se následně zobrazí podokno (obr. 34) s možností výběru definování typů zubních náhrad.

Typy zubních náhrad:

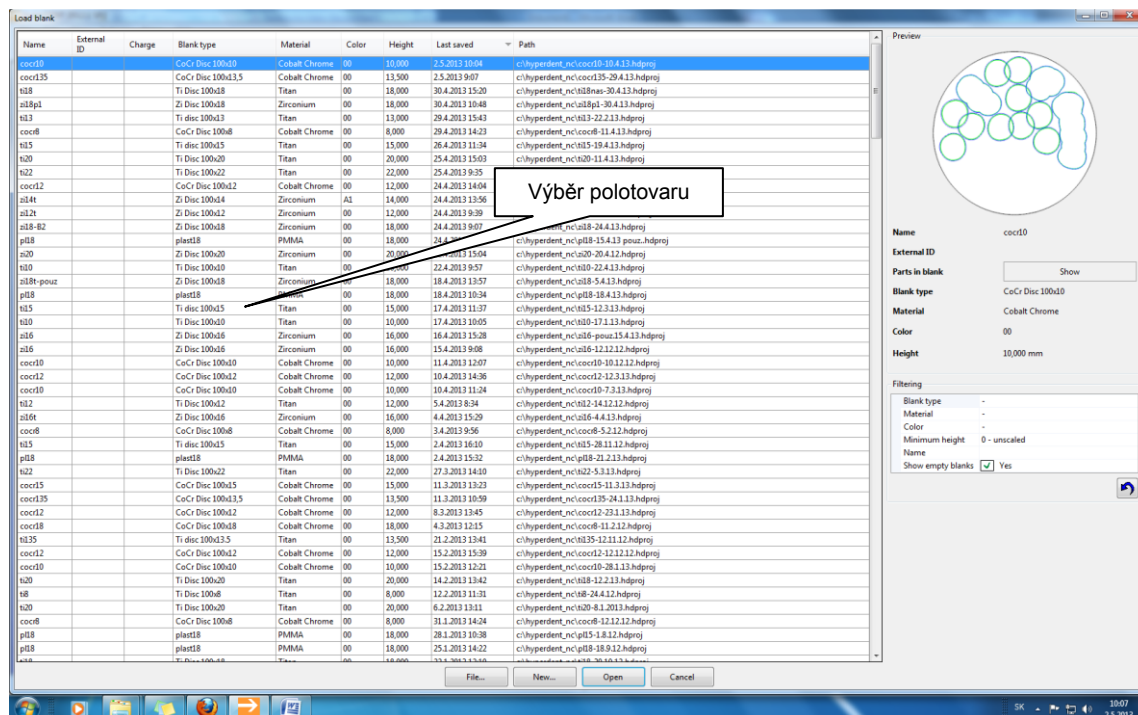
- Coping – kryt zubu
- Coping bridge – kryt můstku
- Crown – korunka
- Crown bridge – korunka můstku
- Abutment – podpěra
- Abutment crown – podpěra korunky
- Abutment bridge – podpěra můstku
- Inlay/onlay – výplň/štěp
- Inlay/onlay bridge – výplň/štěp můstku
- Anatomical Inlay/onlay – anatomická výplň/štěp



Obr. 34 importování modelu zubní náhrady

### 5.2.3 Definice polotovaru

Polotovár je automaticky vložen z databáze (obr. 35). V databázi lze velice jednoduše upravovat, načítat a vytvářet všechny druhy požadovaných polotovarů nejrůznějších velikostí a materiálů. Po načtení polotovaru a automatické verifikace obráběného dílu systém obrábí pouze materiál mezi polotovarem, obrobkem a hraniční křivkou.



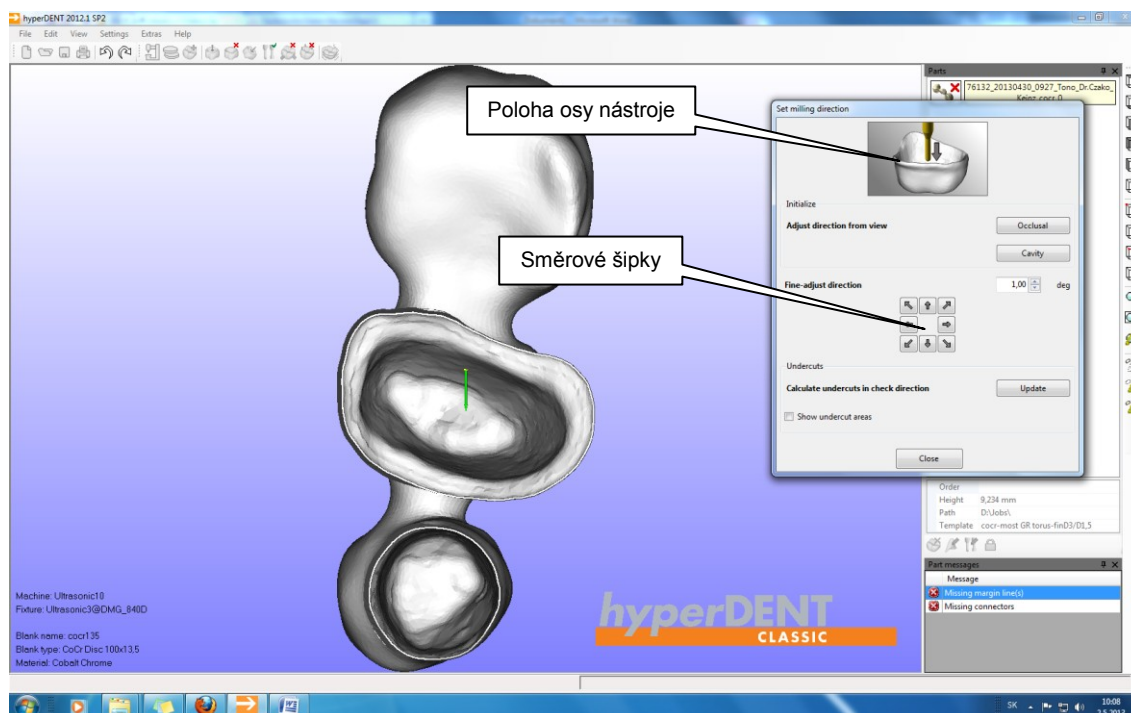
Obr. 35 databáze polotovarů

## 5.3 Nastavení hlavního směru obrábění a automatická verifikace obráběných segmentů

### 5.3.1 Nastavení hlavního směru obrábění (obr. 36)

Hlavní směr obrábění je jedním z nejdůležitějších nastavení, kde se definuje osa řezného nástroje a polohu vůči obráběné součásti. Pomocí směrových šipek otáčíme model do požadované pozice osy nástroje. Pomocí směru obrábění systém verifikuje veškeré obráběcí operace a automaticky detekuje kolizní stavy mezi sestavou nástroje, obrobkem a upínacem.

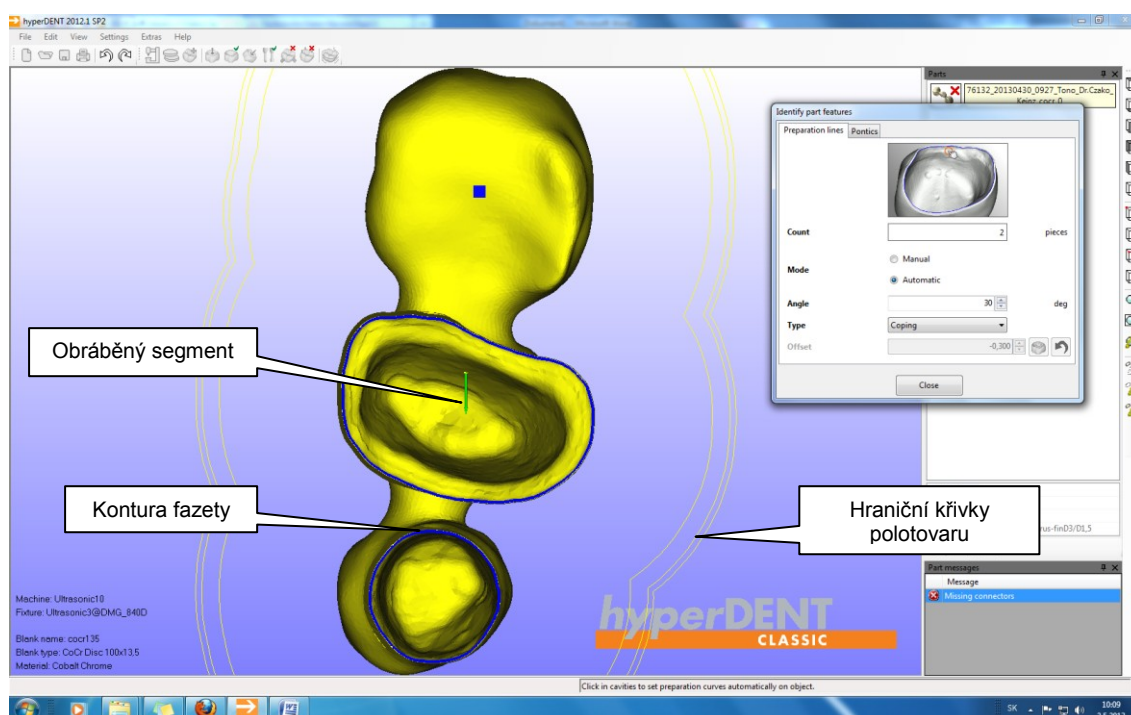




Obr. 36 nastavení hlavního směru obrábění

### 5.3.2 Automatická verifikace obráběných segmentů (obr. 37)

Dalším krokem je automatická verifikace obráběných segmentů. Pomocí této funkce systém definuje obráběné segmenty, vytvoří hraniční křivky polotovaru a kontury jednotlivých fazet. Korunková fazeta je plocha, kde zubní náhrada dosedá na dásně ústní dutiny. Na tuto plochu se kladou nejvyšší nároky na přesnost a kvalitu povrchu.



Obr. 37 Automatická verifikace obráběných segmentů

## 5.4 Vytvoření drah obrábění

### 5.4.1 Vytvoření dráhy obrábění pomocí uložené šablony (obr. 38)

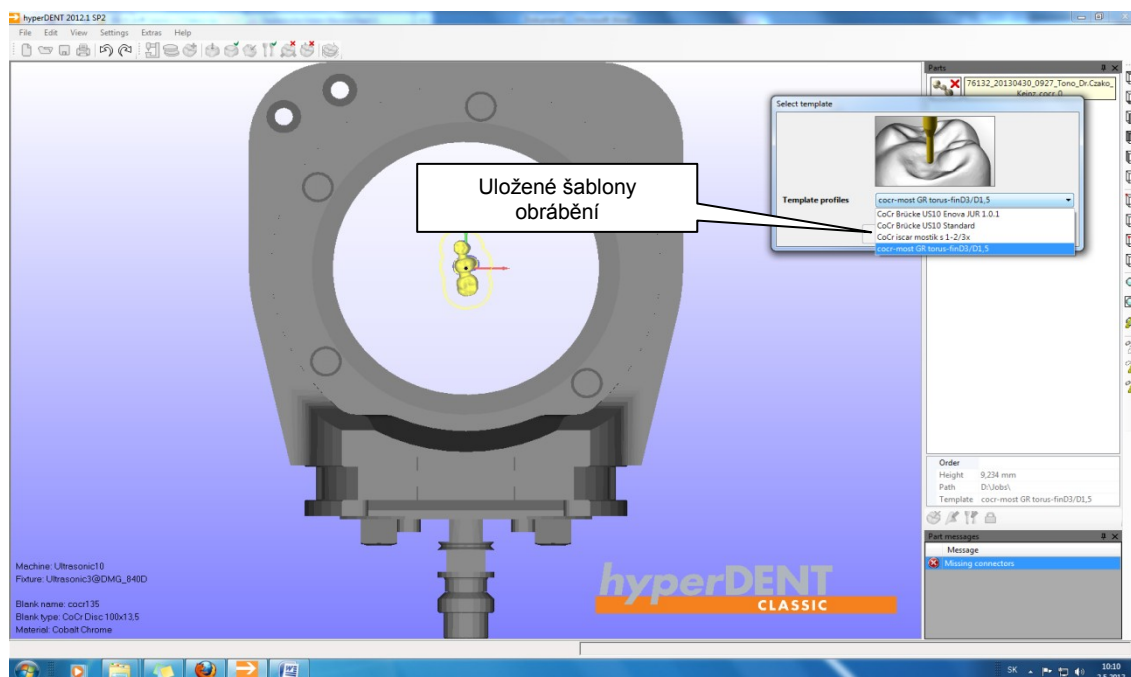
Po stisknutí pravým tlačítkem myši na ikonu select template se otevře nabídka uložených šablon obrábění. Tyto šablony obrábění obsahují veškeré informace obrábění. V uložené šabloně jsou definovány strategie obrábění, nástrojové parametry a řezné parametry obrábění.

Strategie obrábění:

- Roughing – hrubování
- Rest machining – zbytkové obrábění
- Finishing – dokončovací operace
- Connector – strategie odstranění konektorů
- Special – speciální strategie obrábění

Nástrojové parametry obsahují všechny hodnoty řezného břitu a držáku nástroje, jako jsou např.: Typ nástroje, délka nástroje, průměr nástroje, délka břitu a parametry držáku nástroje. V každé strategii jsou nastaveny parametry obrábění, jako jsou např.: Nástroj, otáčky vřetene, posuvy, krok do hloubky, krok překrytí, tolerance plochy, přídavek, HSC obrábění a směr odebírání materiálu.

Po výběru šablony obrábění se automaticky spustí výpočet všech řezných strategií a integrovaný modul pro kontrolu a zamezení kolizí. Software HyperDENT automaticky detekuje plochy, kde nelze obrábět pomocí vertikální pozice nástroje. Po detekování vertikálně nepřístupných ploch systém automaticky zapne kontinuální 5osé HSC obrábění, kde pozice nástroje je stanovena pomocí směrových vektorů daného bodu na obráběné ploše.

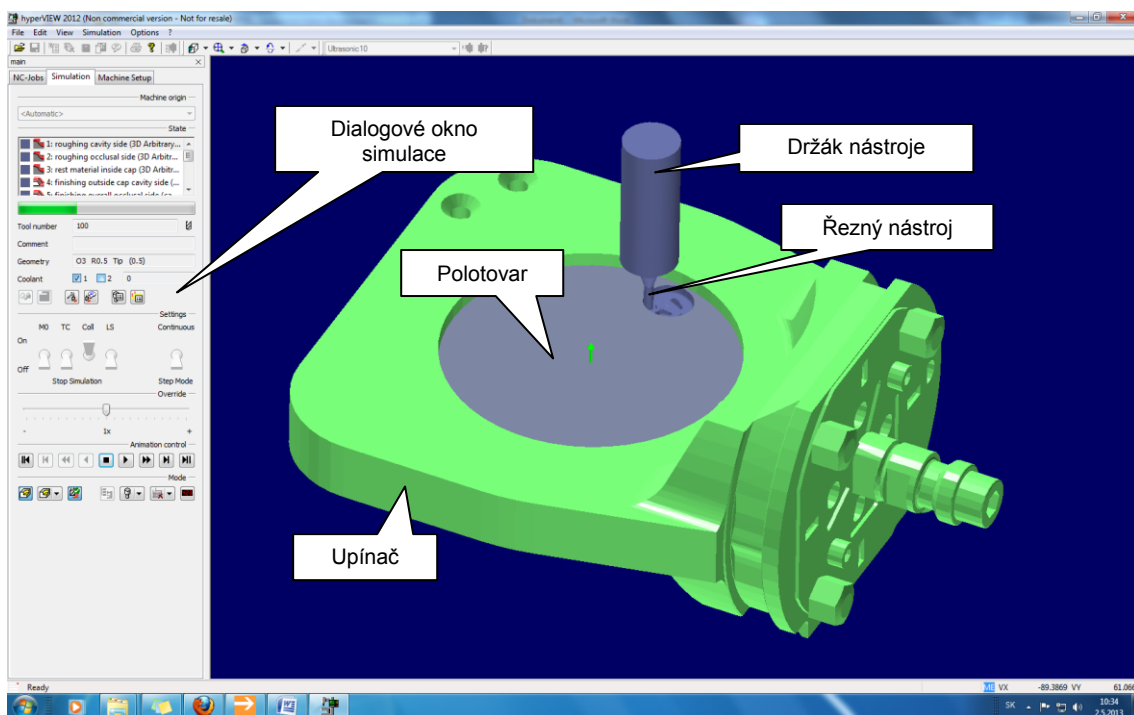


Obr. 38 Výběr šablony obrábění

## 5.5 Simulace obrábění a vytvoření NC programu

### 5.5.1 Simulace obráběných strategií (obr. 39)

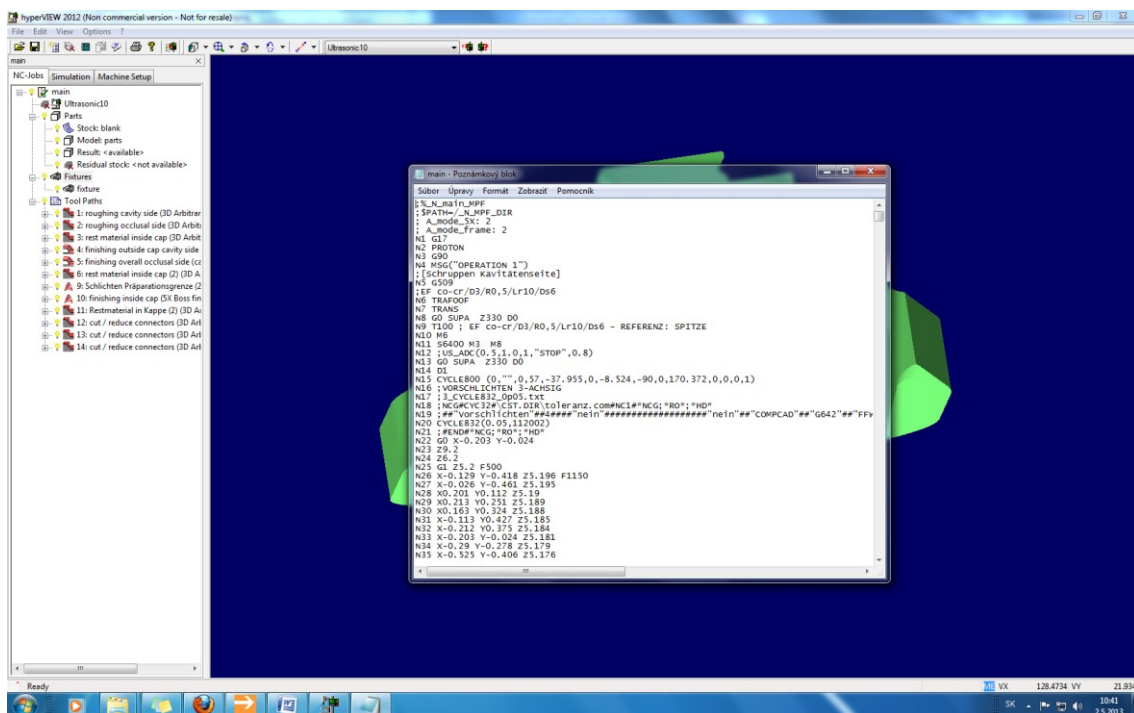
CAM software HyperDENT používá pro simulaci obráběcích strategií integrovaný modul vizuální simulace hyperVIEW 2012. Tento modul obsahuje jednodušší drátovou simulaci, kde se zobrazuje pouze dráha nástroje k obráběnému dílu bez zobrazení polotovaru. Kompletní vizuální simulace zobrazuje reálné odebírání materiálu v trojrozměrném zobrazení. Pomocí několika funkcí se může stanovit zobrazení kompletní sestavy řezného nástroje nebo jenom jeho části. Další užitečnou funkcí je kontrola obrobených a neobrobených ploch pomocí změny barevného zobrazení.



Obr. 39 Simulace obráběných strategií

### 5.5.2 Vytvoření NC kódu (obr. 40)

Integrovaný modul vizuální simulace obsahuje funkce vytvoření příslušného NC kódu z definovaných strategií obrábění. V horní panelové liště se vybere požadovaný postprocesor pro daný stroj a pomocí ikony NC file se zobrazí v dialogovém okně NC kód. Pro vytvoření programu byl použit postprocesor speciálně vytvořený na operační systém SIEMENS 840D SL a CNC 5osý stroj ULTRASONIC 10. Postprocesor obsahuje standardní řízení v třech osách a kontinuální řízení v pěti osách pomocí směrových vektorů.



Obr. 40 Vytvoření NC kódu

## 5.5.3 Ukázka NC kódu

N1 G17 G90 G509	Nastavení standardních G funkcí
N2 G0 SUPA Z330 D0	Bezpečný odjezd v ose Z
N3 T122	Nastavení nástroje
N4 M6	Volby nástroje
N5 S8000 M3 M8	Nastavení a roztočení otáček vřetena, zapnutí chlazení
N6 D1	Načtení korekce nástroje
Transformace souřadného systému	
N7 CYCLE800 (0,"",0,57,0.403084,0,34.262178,-90,0,173.254,0,0,0,1)	
N8 CYCLE832(0.06,112001)	Zapnutí vysokorychlostního obrábění HSC
N9 M12	Zapnutí funkce ULTRASONIC
Bloky kontinuálního pěti-osého obrábění	
N10 X12.622638 Y0.556982 Z30.302681 A86.282 C=DC(178.524) F2000	
N11 X12.361146 Y0.50189 Z30.490445 A86.46 C=DC(178.137)	
N12 X12.208849 Y0.44918 Z30.639549 A86.6 C=DC(177.891)	
-	
N99 M13	Vypnutí funkce ULTRASONIC
N100 CYCLE832 ( )	Vypnutí vysokorychlostního obrábění HSC
N101 SUPA Z330 D0 M9	Bezpečný odjezd v ose Z
N102 G0 A0 C=DC(0)	Najetí rotačních os do základní polohy
N103 M30	Konec programu

## 6 Aplikace na pěti-osém obráběcím centru

### 6.1 CNC operační systém SINUMERIC 840D SolutionLine

SINUMERIK 840D sl je univerzální a flexibilní CNC systém s možností řízení až 31 os. SINUMERIK 840D sl je dostupný a otevřený řídicí systém nabízející širokou řadu funkcí. Jednotlivé elektrotechnické komponenty jsou hardwarově a softwarově propojeny pomocí ethernetu. Řízení probíhá pomocí NC softwaru, který je instalován do systému WINDOWS.

Komunikaci mezi NC softwarem a elektronikou zajišťuje integrovaný PLC software. NC software je už v základu plně vybaven pro programování a obsluhu

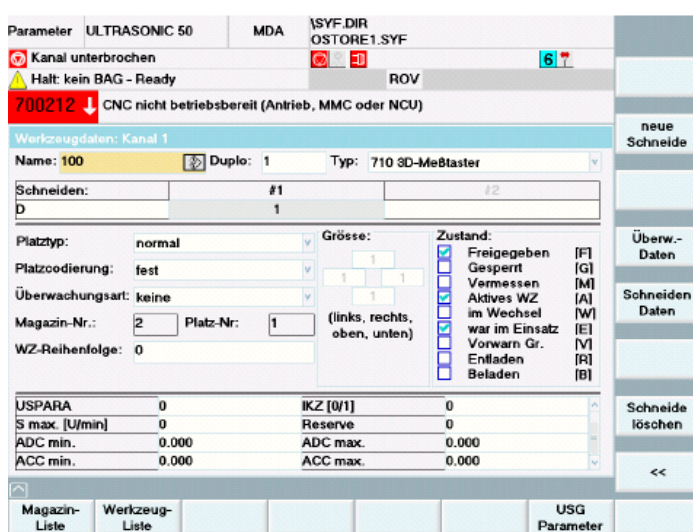




CNC stroje. Nabízí správu nástrojů, nulových bodů, cykly programování s možností rozšíření o cykly pro obsluhu měřících sond atd. [10], [12]

## 6.2 Definice řezných nástrojů

Definování řezných nástrojů se zadává v integrovaném modulu (obr. 41) operačního systému SINUMERIC 840D sl. Základní parametry pro definici řezného nástroje jsou: název (číslo) nástroje, typ nástroje, číslo magazínu nástrojů, číslo pozice v magazínu nástrojů a dalším důležitým parametrem pro nástroje využívající aplikaci Ultrasonic je „USPARAM“. Tímto parametrem lze aktivovat



nástroje, které mohou využívat aplikaci Ultrasonic. Pomocí softklávesy „Data bříty“ se zobrazí nastavení pro délku a poloměr nástroje. Délka a poloměr nástroje jsou automaticky nastaveny pomocí laserového bezkontaktního měření RENISHAW NC4. [12]

Obr. 41 Definice řezného nástroje

## 6.3 Nastavení korekcí nástrojů a stanovení nulových bodů

Pro nastavení korekcí nástrojů a stanovení nulových bodů obrábění byly použity automatické systémy od společnosti RENISHAW. Korekce nástrojů jsou zaměřeny pomocí integrovaných cyklů, které ovládají bezkontaktní laserové měřící zařízení RENISHAW NC4. Zařízení NC4 (tab. 2) je flexibilním laserovým systémem k ustanovení nástrojů s vysoce kompaktní konstrukcí přijímací a vysílací laserové jednotky. Systém NC4 umožňuje rychlé bezkontaktní ustanovení nástrojů a detekci jejich poškození s přesností  $\pm 2,5 \mu m$ . Bezkontaktní systémy ustavování nástrojů nabízejí zkrácení seřizovacích časů až o 90% a snížení zmetkovitosti způsobované chybami ustavení. [11], [12]



Tab. 2 Technická specifikace RENISHAW NC4

Typ laseru	Laserový produkt 2. třídy s červeným viditelným paprskem < mW, 670 nm.
Min. průměr nástroje pro ustavování	0,03mm
Napájení	70mA 24V
Teplotní rozsah	5°C až 50°C
Ofukování nástroje	Min. 3 bary, max. 6 barů

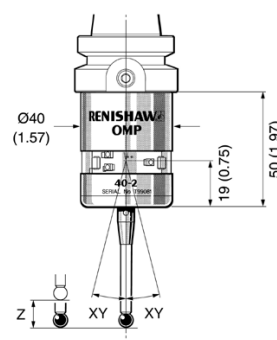
Pro ustavování nulového bodu obrábění se mohou použít integrované cykly obsažené v ručním nebo automatickém režimu stroje. Pomocí kompaktní dotykové sondy RENISHAW OMP40-2 zcela jednoduše a přesně stanovíme nulový bod obrábění daného dílu. OMP 40-2 (tab. 3) splňuje požadavky pro měření



na malých obráběcích centrech a vysokorychlostních obráběcích strojích s HSK upínáním nástrojů. Renishaw technologie zaujímá vedoucí místo na trhu v oblasti měření na CNC strojích. Při použití měřící sondy lze očekávat životnost baterie více než 6 měsíců a to při minimálním čase prostojů a nákladů na údržbu. [11], [12]

Tab. 3 Technická specifikace OMP40-2

Rozměry	délka: 50mm průměr: 40mm
Váha	260g
Typ přenosu	360° infra-červený optický přenos
Metoda zapnutí	optická nebo automatická
Metoda vypnutí	optická nebo časovač
Provozní rozsah	do 5m
Typ baterie	½ AA 3,6V
Teplotní rozsah	5°C až 50°C





## 6.4 Ultrasonic generátor

Software pro ovládání a konfiguraci aplikace Ultrasonic je obsažen v základní ovládací oblasti operačního systému. Na prvním zobrazení (obr. 42) jsou základní parametry o zvoleném nástroji a parametry pro definování aplikace Ultrasonic.



Druhé zobrazení (obr. 43) ukazuje kontrolní údaje generátoru. Pozadí této funkce je nezávislá na uživatelském rozhraní a průběžně monitoruje aktuální nástroj. Přidělený parametr P na příslušný nástroj T a k němu nastavené parametry jsou automaticky převedeny na generátor. [12]

Parameter	DMU 35M	MDA	\SYF.DIR OSTORE1.SYF
Kanal RESET		Programm abgebrochen	
		ROV	
USG - Parameterdatensatz			
Werkzeug (T-Nr.)	1	Aktuelle P-Nr.	1 - Bohrer 12 mm
Werkzeugbezeichner	1	Auswahl P-Nr.	1 - Bohrer 12 mm 
Power Min.	1.5 %	Beschreibung Bohrer 12 mm	
Power Nom.	75 %		
Power Max.	5.5 %		
Amplitude Min.	12.3 %		
Amplitude Nom.	88 %		
Amplitude Max.	77.7 %		
Frequenz Start	22900 Hz		
Frequenz Stop	17000 Hz		
<div>  </div>			

P-Nummer  
Setzen

Datensatz  
Ändern

Abbruch

Ok

Obr. 42 Zobrazení „USPARA“

USG Control	DMU 35M	MDA	\SYF.DIR OSTORE1.SYF	
Kanal aktiv			Programm läuft	
Warten wegen SYNACT-Anweisung			ROV	Amplitude
USG - Remote Control Version 2.26				
Parameter		Sollwerte	Istwerte	
Power	75 %	75 %	Min 1.5 % (4.5 W) Max 5.5 % (16.5 W)	0 % (0 W) 1 % (3 W) 100 % (300 W)
Amplitude	88 %	88 %	Min 12.3 % Max 77.7 %	0 % 88 % 100 %
Frequenz	22900 Hz	22900 Hz	Start 22900 Hz Stop 17000 Hz	15000 Hz 17000 Hz 25000 Hz
Step Ratio	1	1	Status	Generator <input type="radio"/> Manual Tuning <input type="radio"/> Freq. Cont. <input type="radio"/>
T-Nr.	1		12:51:47	
P-Nr.	1		Ok	
START	STOP	Edit Curr. Dataset	MT Ein	MT Aus

Obr. 43 Zobrazení „USCTRL“

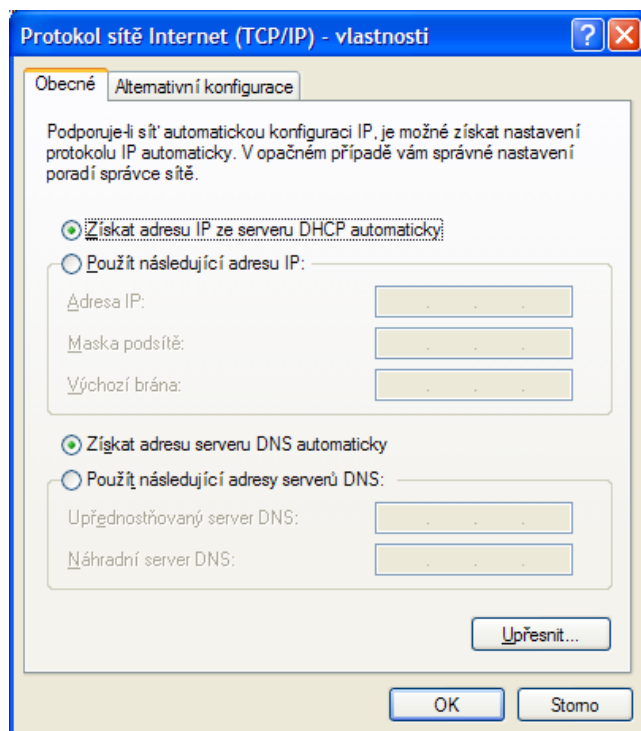
Pro ladění generátoru lze použít dva módy a to automatický a manuální. Automatické ladění se spouští softklávesou „Start“. Po uplynutí určitého časového intervalu je režim zastaven a zjištěné parametry jsou automaticky odeslány do nastavení generátoru. Manuální ladění je někdy nutné pro těžké nástroje, u nichž automatické ladění vykazuje nesprávné parametry. Při manuálním ladění se využívají vertikální softklávesy, kde zvyšujeme a snižujeme příslušné parametry. Po zjištění optimálních parametrů tyto údaje ručně zapíšeme do nastavení generátoru.

V automatickém režimu se aplikace spouští pomocí M funkcí, kde funkce M12 zapíná oscilaci nástroje a M13 ji vypíná. [12]

## 6.5 Přenos NC programu

Při přenosu NC programu do operačního systému CNC stroje se používá tři rozhraní USB, RS232 a síťového rozhraní. Pro přenos krátkých a jednodušších programů se používá přenos pomocí USB klíče. Zastaralý ale stále používaný přenos dat mezi PC a CNC strojem je rozhraní pomocí sériového portu RS232. Nevýhodou tohoto připojení je nutnost zakoupení speciálního softwaru. Přenos pomocí RS232 rozhraní je nejpomalejší ze všech uvedených způsobů. V dnešní

době je většina obráběcích strojů vybavena síťovými kartami a tudíž lze použít pro přenos programů standardního nastavení protokolu sítě internetu (TCP/IP) (obr. 44). Po definování síťových protokolů na uživatelském PC definujeme síťovou jednotku, kde se odkazujeme na příslušný adresář ve stroji. Následně pomocí jednoduchých počítačových příkazů kopírujeme program z uživatelského PC do daného adresáře stroje. [12]

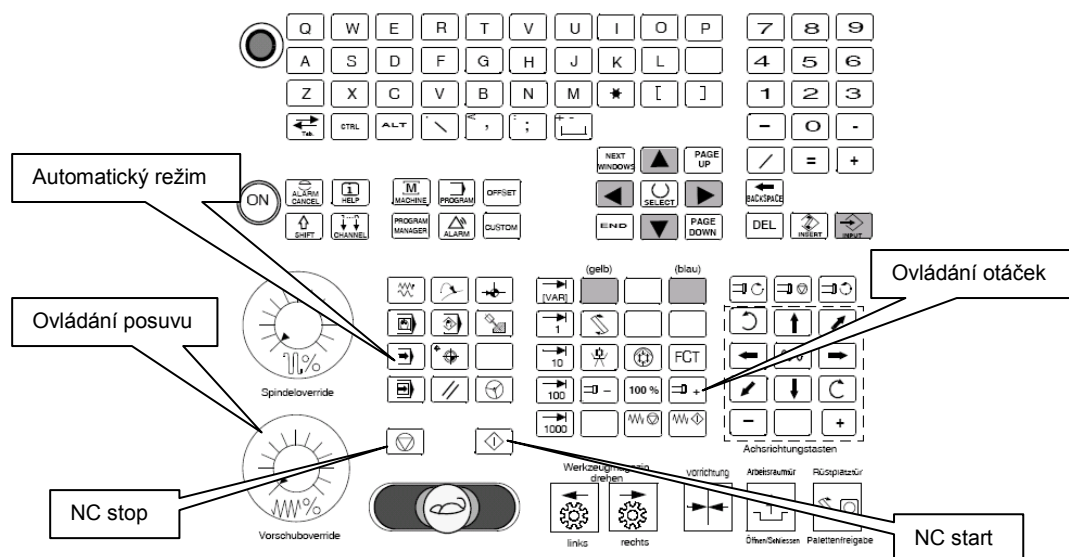


Obr. 44 Protokol sítě internet (TCP/IP)

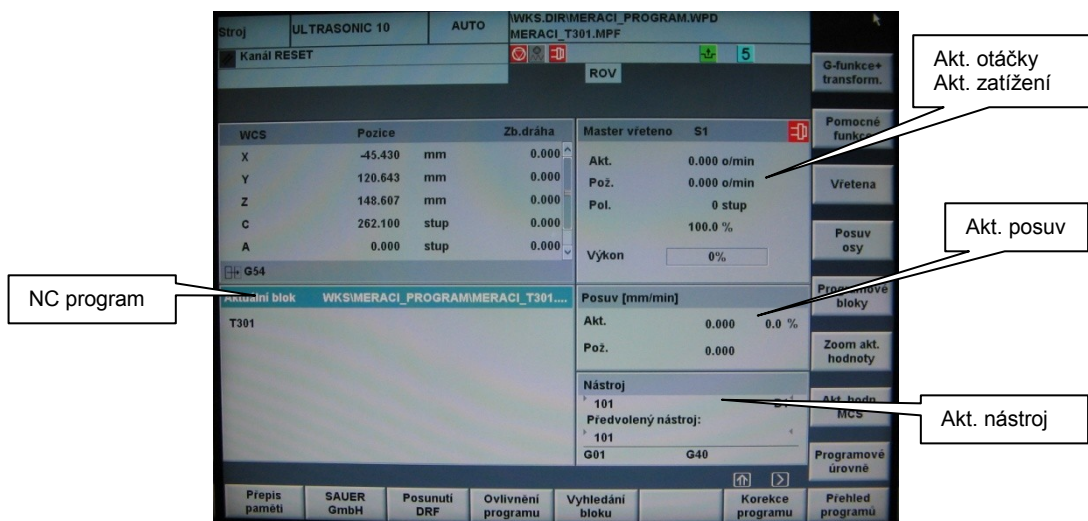
## 6.6 Automatický režim

Po přenosu daného NC programu, nastavení korekcí nástrojů a definování nulových bodů obrábění se stroj přepne pomocí příslušného tlačítka na ovládacím panelu (obr. 45) do automatického režimu. Po stlačení klávesy NC start začne automatický obráběcí proces. Na obrazovce stroje (obr. 50) se zobrazují jednotlivé probíhající části programu. Řezné podmínky během automatického provozu se ovládají pomocí potenciometru pracovního posuvu a tlačítek otáček vřetene. [12]





Obr. 45 Ovládací panel



Obr. 50 Automatický režim

## 6.7 Kontrola obráběných dílů

### 6.7.1 Integrita a drsnost povrchu

Kontrola obráběné součásti spočívá na změření standardních geometrických odchylek a také důležitým faktorem je vyhodnocení integrity povrchu. Integrita povrchu je vyhodnocení geometrických a fyzikálních vlastností jako jsou např. vnitřní pnutí, zbytková pnutí, tvrdost a mikrostruktura. Důležitým faktorem pro kontrolu obráběného povrchu je drsnost. Dle ČSN EN ISO4287 definujeme geometrické parametry pro drsnost povrchu značkou „R“. [10], [12]

### Výškové parametry drsnosti povrchu

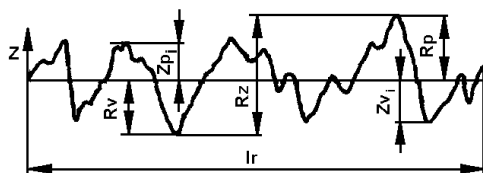
$R_p$  – největší výška povrchu

$R_v$  – největší hloubka prohlubně povrchu

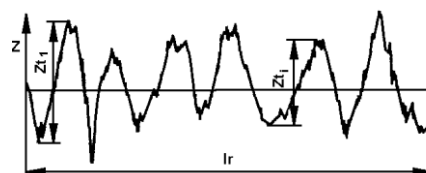
$R_z$  – největší výška profilu

$R_c$  – průměrná výška profilu

$R_t$  – celková výška profilu

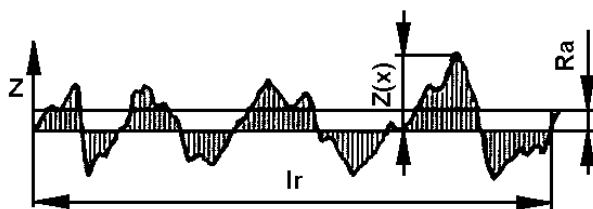


Parametry  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_z$



Parametry pro stanovení  $R_c$

Aritmetický průměr  $R_a$  – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$ .

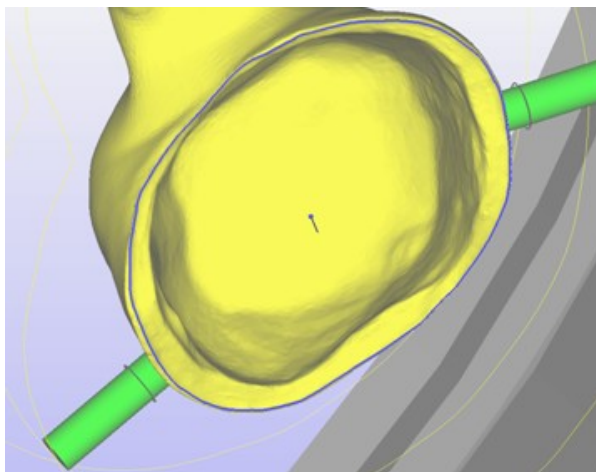


Parametr  $R_a$

#### 6.7.2 Vizuální kontrola a manuální broušení obrobeného segmentu

Konečnou kontrolu provádí opticky zubní laborant na dentálním optickém pracovním stole. V případě jakýchkoliv odchylek tvarů pomocí brusných kotoučů a pneumatické fortunky vybrousí zubní komponent do požadovaného tvaru. Nevýhodou technologie třískového obrábění je nedořezání negativní ploch dutin zubních korunek (obr. 51). V této fázi výroby zubního komponentu záleží převážně na zkušenostech a zručnosti zubního technika.





Obr. 51 Negativní plocha dutiny zubní korunky

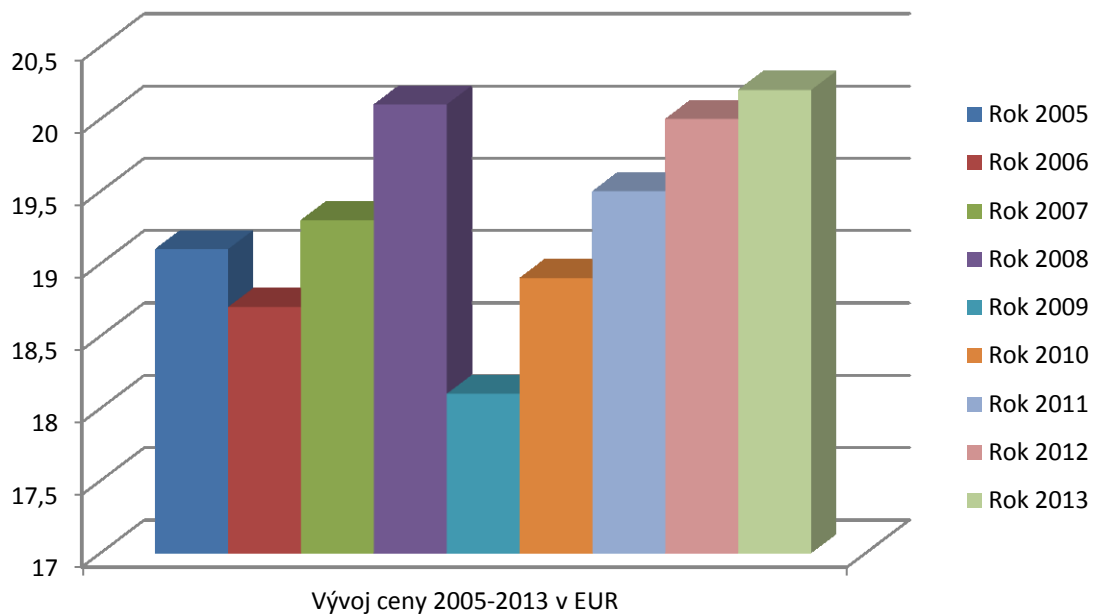
Poslední fází je ruční nanášení keramického materiálu na zubní komponent. Zubní laborant nanáší jednotlivé vrstvy keramických materiálů různých odstínů a každá nanesená vrstva je vakuově spékána pomocí vakuové pece od společnosti Zubler. Vakuová pec Zubler Vario 300 (obr. 52) je specificky navržena pro potřeby zubních laborantů a dentálních techniků.



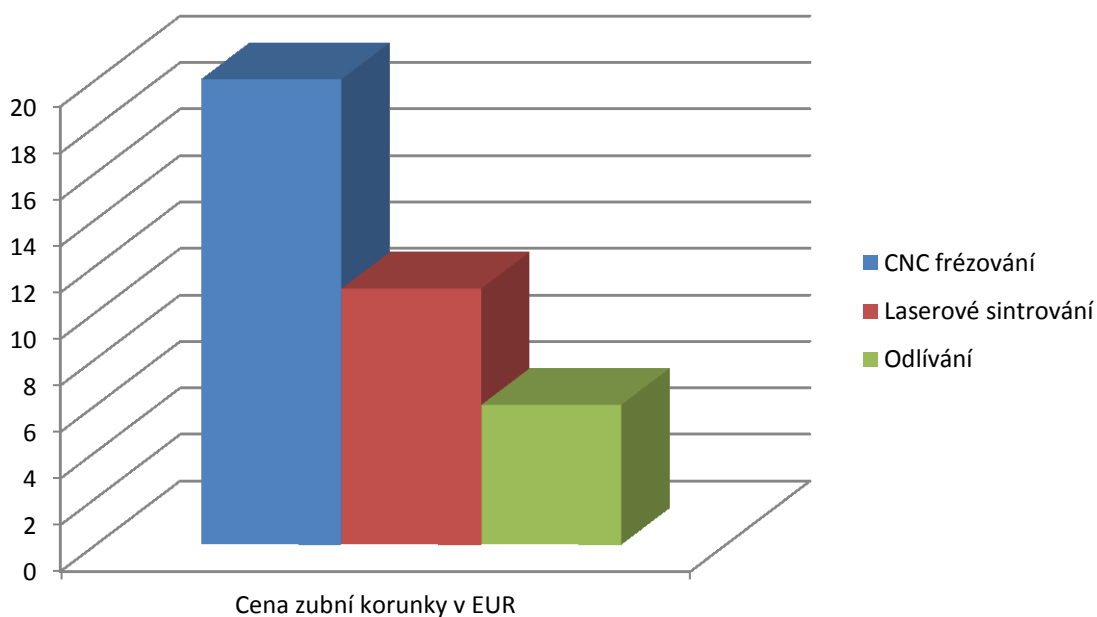
Obr. 52 Vakuová pec Zubler Vario 300

## 7 Ekonomická statistika

### 7.1 Vývoj ceny zubní korunky CoCr vyrobené technologií frézování od roku 2005 do roku 2013



### 7.2 Cena zubní korunky CoCr vyrobené různými technologiemi výroby





## 7.3 Výpočet návratnosti investice zubní korunky CoCr

### 7.3.1 Výpočet návratnosti investice při platných cenách v roce 2013

- Celková investice nové technologie 250 000,- EUR (CNC stroj, CAM systém, 3D scanner)
- Cena zubní korunky CoCr na trhu: 20,2,- EUR
- Výrobní čas jedné korunky: 30 min
- Počet pracovních směn: 1
- Hodinový fond za směnu: 8 hod
- Počet pracovních dní v roce: 250 dní
- Procentuální vytížení stroje: 90 %
  
- Počet vyrobených dílů za rok: cca 3636 ks
- Celkové hodnota vyrobených dílů za rok: 73 447,- EUR
- Návratnost investice: 3,4 rok

Vypočítaná návratnost investice při výše uvedených vstupních hodnotách je 3,4 roků.

### 7.3.2 Výpočet návratnosti investice při zohlednění nejvyšší inflace v časovém období od roku 2005 do roku 2013

- Celková investice nové technologie 250 000,- EUR (CNC stroj, CAM systém, 3D scanner)
- Cena zubní korunky CoCr na trhu: 18,1,- EUR
- Výrobní čas jedné korunky: 30 min
- Počet pracovních směn: 1
- Hodinový fond za směnu: 8 hod
- Počet pracovních dní v roce: 250 dní
- Procentuální vytížení stroje: 90 %
  
- Počet vyrobených dílů za rok: cca 3636 ks
- Celkové hodnota vyrobených dílů za rok: 65 811,- EUR
- Návratnost investice: 3,8 rok

Vypočítaná návratnost investice při výše uvedených vstupních hodnotách je 3,8 roků.

## Závěr

Vypracovaná diplomová práce je zaměřena na kompletní návrh technologie obrábění zubních náhrad na pěti-osém vysokorychlostním CNC centru. Zubní náhrady jsou díky technologickému pokroku jednou z nejvíce rozvíjejících se technologických oblastí. Strojírenská technologie díky tvorbě nových materiálů a technologií čím dál více zasahuje do lékařských oblastí. Konstrukteři, strojní inženýři, technologové a programátoři ve vzájemné spolupráci vyvíjejí nejmodernější technologie, řezné nástroje a materiály, které představují vhodnou náhradu zubních implantátů. Zubní náhrady byly vyrobeny z materiálů, které slibují vhodnou alternativu lidských zubů.

V diplomové práci byly použity nejmodernější dostupné technologie na současném trhu. Pro tvorbu STL modelu byl použit speciální dentální 3D scanner od společnosti Zfx. Pro konstrukci a úpravu zubních korunek a můstků se použil CAD software SolidWorks 2013. SolidWorks 2013 je jeden z předních CAD (Computer Aided Design) softwarů pro konstrukci dílů, tvorbu sestav, vytvoření výkresové dokumentace a analýzu mechanických vlastností. Kompletní strategie obrábění byla vytvořena v CAM (Computer Aided Machining) softwaru hyperDENT. CAM software hyperDENT je speciálně vyvinut pro obrábění dentálních náhrad na pěti-osém vysokorychlostním obráběcím centru Ultrasonic 10. Tento CAM software obsahuje integrované moduly pro kompletní vytvoření technologie obrábění jednotlivých zubních náhrad. Strategie obrábění je automaticky generována z přednastavených šablon, které obsahují strategie obrábění: hrubování, před-dokončení, dokončení a odstranění konektorů. Veškeré tyto výrobní strategie používají vysokorychlostní kontinuální pěti-osé obrábění.

Při vysokorychlostním obrábění (HSC) sklokeramických materiálů s použitím speciální technologie Ultrasonicu se výrazně zlepšila kvalita obráběného povrchu. Také tato technologie výrazně pomáhá při odebírání materiálu a prodlužuje životnost řezných nástrojů. Opracování obráběného povrchu se od standardního obrábění zlepšila o 40% a tím se odstranily pracné a nákladné ruční dobrušovací operace. Na základě těchto získaných zkušeností lze konstatovat, že technologie Ultrasonic má široké uplatnění v oblasti obrábění kompozitních materiálů.

Z ekonomického hlediska má nová technologie největší náklady na výrobu zubních náhrad, ale při kvalitativně nejlepších výsledcích na strukturu vyrobených dílů. Za použití této technologie se snížila zmetkovitost na 2% od původní

používané technologie. Cena jedné CoCr korunky vyrobené novou technologií se pohybuje na nynějším trhu okolo 20,- EUR. Při stávajících cenách zubních náhrad se návratnost investice stanovila maximálně na čtyři roky při započítání jednotlivých možných ekonomických vlivů.

## Seznam použité literatury

- [1] URL:< [http://cs.wikipedia.org/wiki/Zubni\\_korunka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Zubni_korunka) [cit. 2013-01-04]>.
- [2] URL:<<http://www.zuby.cz/korunky/iv-jak-se-dela-korunka-vyrobní-postup-v-zubni.html> [cit. 2013-01-05]>.
- [3] URL:<<http://www.sinteo.cz/technologie/technologie-sintrovani> [cit. 2013-02-05]>.
- [4] URL:<<http://www.gildemeister.com> [cit. 2013-03-05]>.
- [5] URL:<<http://www.zfx-dental.com/cs> [cit. 2013-03-05]>.
- [6] URL:<<http://www.solidvision.cz> [cit. 2013-04-05]>
- [7] URL:< <http://ee.osgeurope.com> [cit. 2013-04-05]>
- [8] URL:< <http://www.schott-diamantwerkzeuge.com> [cit. 2013-04-05]>
- [9] URL:< <http://www.westcam.cz/datentechnik/cz/hyperdent-pro-modern-zubasko-1.html> [cit. 2013-05-05]>
- [10] TICHÁ, Šárka *STROJNICKÁ METROLOGIE – část1*, 12.květen 2011, dostupná na WWW: <<http://www.fs.vsb.cz/books/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>>
- [11] URL:<<http://www.renishaw.cz> [cit. 2013-10-05]>.
- [12] Polách R.; Bakalářská práce – Návrh obrábění skeletální náhrady kolenního kloubu na pěti-osém obráběcím centru s využitím CAD-CAM systémů., 41s
- [13] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. Vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8
- [14] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.

## Seznam příloh

Příloha č. 1 – NC program

Příloha č. 2 – příklady vyrobených zubních náhrad

Příloha č. 3 – CD:   Bakalářská práce (pdf)

                  Zadání bakalářské práce (pdf)

                  NC program (pdf)

                  Příklady vyrobených zubních náhrad (pdf)

                  Video obrábění č. 1 (mov)

                  Video obrábění č. 2 (mov)

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Prof. Dr. Ing. Josefu Brychtovi za příkladné vedení a technologickou podporu při vypracování diplomové práce.

Rád bych také poděkoval společnosti Jozef Šatka – zubní laborant za kompletní investici do výrobní technologie a zapůjčení veškerého strojního a nástrojového vybavení pro vypracování praktické části diplomové práce.